

УДК 631.618:633.2.031

А. В. Жуков, И. В. Лядская

Днепропетровский государственный аграрный университет

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОБИОГЕОЦЕНОЗОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Приведены результаты изучения первичной продуктивности агробиогеоценозов, которые сформированы в разнообразных эдафических условиях, возникающих в процессе рекультивации земель. Установлены закономерности пространственной изменчивости биомассы растительных сообществ. Средствами ГИС-технологий с использованием регрессионного анализа количественно оценена зависимость фитомассы от эдафических факторов (агрегатный состав и содержание гумуса). Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение количества почвенных агрегатов с размерами более 3 мм благоприятствует росту первичной продуктивности агробиогеоценозов на участках рекультивации.

О. В. Жуков, І. В. Лядська

Дніпропетровський державний аграрний університет

ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОБІОГЕОЦЕНОЗІВ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧОДОБУВНОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ

Наведено результати дослідження первинної продуктивності агробіогеоценозів, сформованих у різноманітних едафічних умовах, що виникають у процесі рекультивації земель. Встановлено закономірності просторової мінливості біомаси рослинних угруповань. Засобами ГІС-технологій із використанням регресійного аналізу кількісно оцінено залежність фітомаси від едафічних особливостей (агрегатний склад і вміст гумусу). Одержані результати свідчать про те, що збільшення кількості ґрунтових агрегатів із розмірами, що перевищують 3 мм, сприяє зростанню первинної продуктивності агробіогеоценозів на ділянках рекультивації.

A. V. Zhukov, I. V. Liadskaya

Dnipropetrovsk State Agrarian University

PRIMARY PRODUCTIVITY OF THE AGROBIOGEOCENOSSES ON THE EXPERIMENTAL AREA OF THE LAND RECLAMATION AFTER MINING IMPACT

The results of the primary productivity investigation of agrobiogeocenoses in different edaphic condition of reclaimed soil have been presented. The spatial variability of the plant community biomass has been shown by means of GIS-approaches. By means of regression analysis the dependence of the phytomass on edaphic factors, such as aggregate composition and humus content, have been quantitatively assessed. The data obtained reveal that the rise of the soil aggregate with size of more than 3 mm leads to primary production increase of agrobiogeocenoses in the recultivated areas.

Введение

При открытой разработке полезных ископаемых происходит нарушение почвенного покрова на значительной территории [1]. Растительность является важным фактором биологического этапа рекультивации земель. Первичная продукция растительных группировок во многом определяет интенсивность восстановления биотического потенциала почвенного покрова [3]. Характер влияния растительности на процесс рекультивации многоплановый. Биомасса растительного покрова как результат продукционного процесса рассматривается в качестве интегрального показателя интенсивности фитогенного фактора рекультивации земель [5].

В настоящее время накоплен и теоретически осмыслен большой фактический материал относительно закономерностей формирования первичной продукции сообществ на участках рекультивации [5]. Однако совершенно не изученным является 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.

Материал и методы исследований

Исследование проведено на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации создан в период с 1968 по 1970 год. Фитомасса растительных группировок была установлена на площадках размером 50×50 см. Площадки были закономерно расположены вдоль восьми трансект в направлении с запада на восток. Каждая трансекта состояла из 20 проб, расположенных с интервалом 15 м. Дистанция между трансектами также составила 15 м. Данные о фитомассе собраны со 160 проб в июле 2009 года. Сбор материалов проводили по общепринятым методикам [1].

Результаты и их обсуждение

Растительный покров на экспериментальном участке рекультивации земель в период исследований представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.). После длительного периода произрастания на территории экспериментального участка культурной злаково-бобовой травосмеси (1995–2003) начался период самозарастания. Очевидно, структура растительного покрова являет собой результат сукцессий под воздействием эдафических факторов и взаимодействий внутри растительного сообщества.

Преобладающей ассоциацией по покрытию является злаковая *B. inermis* (83,8 % проб). На рисунке 1 показано пространственное расположение растительных ассоциаций в пределах экспериментального участка. Карта получена с помощью применения радиальных базовых функций. Оценка площади, занимаемой ассоциациями, дает значения 88,0 % для *B. inermis* и 12,0 % для *M. officinalis*.

В качестве экологических характеристик доминирующих видов растительных ассоциаций приведены значения индикаторных шкал Г. Элленберга [7; 8], Е. Ландольта [9] и Д. Н. Цыганова [6] (табл. 1).

Кострец безостый и донник желтый относятся к лугово-степной ценотической группе. По выбранным шкалам имеют близкие значения. По шкале Ландольта эти виды незначительно различаются только по континентальности. По Элленбергу, кострец

безостый является более требовательным к условиям влажности почвы, чем донник желтый. Подобные выводы можно сделать и при анализе экологических свойств растений по шкале Цыганова.

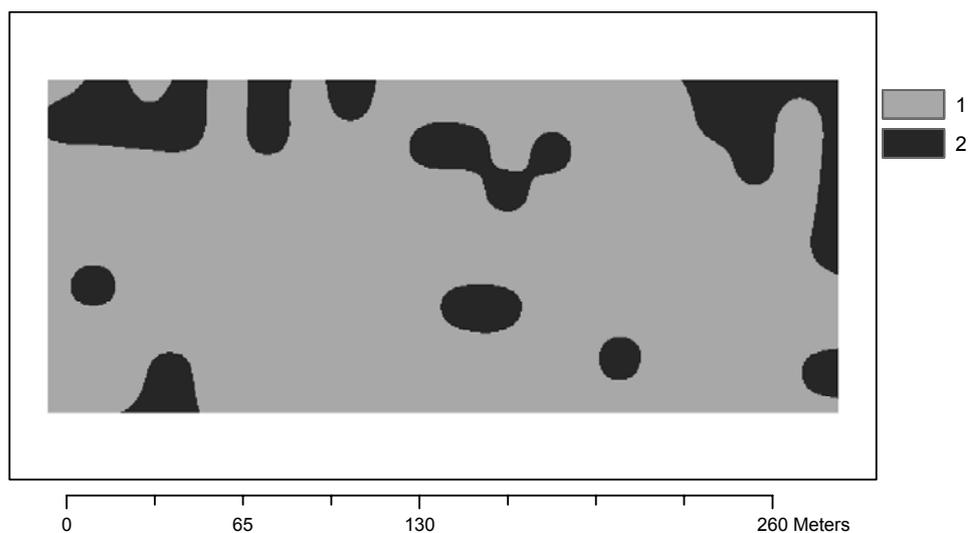


Рис. 1. Пространственное распределение растительных ассоциаций по территории экспериментального участка: 1 – ассоциация *Bromopsis inermis*, 2 – ассоциация *Melilotus officinalis*

Таблица 1

Экологическая характеристика доминирующих видов растительного покрова экспериментального участка

Автор	Название вида	<i>Bromopsis inermis</i>	<i>Melilotus officinalis</i>
	тип ареала по Мезелю	циркумполярный; бореальный-субмеридиональный	европейский-западноазиатский; бореально-меридиональный
	эколого-ценотическая группа	лугово-степная	лугово-степная
По Элленбергу	температура	–	5
	континентальность	7	6
	увлажнение почвы	4	3
	кислотность почвы	8	8
	азотообеспеченность	5	3
По Ландольту	освещенность	8	8
	температура	4	4
	континентальность	4	3
	увлажнение почвы	2	2
	кислотность почвы	4	4
	азотообеспеченность	3	3
	гумус	3	3
гранулометрический состав	3	3	
По Цыганову	освещенность	4	4
	температура	3–12	3–13
	континентальность	3–15	3–15
	криоклимат	3–11	5–13
	увлажнение почвы	3–19	3–15
	кислотность почвы	7–13	1–13
	азотообеспеченность	3–9	1–9
	солевое богатство	5–17	1–17
освещенность	1–5	1–3	

Существенным фактором, ограничивающим возможность сельскохозяйственного использования техноземов, является дефицит азота. В отношении трофности (чувствительность к количеству азота в почве) по Элленбергу более требовательным является костреч безостый, чем донник желтый. Это различие является наиболее экологически существенным, которое можно выявить при сравнении индикаторных свойств растений. Вполне возможно, что способность фиксировать азот, которая присуща бобовым растениям, снижает чувствительность донника желтого к количеству азота в почве.

Данные по фитомассе приведены в граммах на площадь учетной единицы (0,25 м²) (табл. 2), так как учет пространственной компоненты изменчивости признака предполагает наличие зависимостей изучаемого показателя от масштаба. Это значит, что пересчет результатов учета фитомассы на площадке 0,25 м² в другие единицы (большие по своему значению, например, в гектары), может дать неверные результаты.

Таблица 2

**Статистические характеристики фитомассы
экспериментального участка по рекультивации земель (г/0,25 м², 05.07.2009 г.)**

Ассоциация	Средняя	Доверительный интервал		Число проб
		-95,0 %	+95,0 %	
<i>Bromopsis inermis</i>	127,5	117,9	137,1	134,0
<i>Melilotus officinalis</i>	271,7	219,3	324,2	26,0
В целом по участку	151,0	136,9	165,1	160,0

В целом по участку фитомасса находится на уровне 151,0 г/0,25 м². Фитомасса ассоциации донника желтого (271,7 г/0,25 м²) значительно превышает фитомассу костреча безостого (127,5 г/0,25 м²). Очевидно, что эти различия обусловлены габитуальными особенностями видов-эдикаторов: растения донника желтого значительно больше по размерам, чем костреча. Несмотря на различия абсолютных значений, изменчивость фитомассы в обеих ассоциациях находится практически на одном уровне (коэффициент вариации для костреча безостого составляет 44,0 %, а для донника желтого – 47,8 %).

Распределение фитомассы в ассоциациях *B. inermis* описывается нормальным законом (тест Колмогорова – Смирнова $d = 0,07$) (рис. 2). Для подтверждения нормального характера распределения фитомассы ассоциаций *M. officinalis* недостаточно данных, однако это распределение может быть выбрано в качестве наиболее вероятной гипотезы ($d = 0,11$).

Статистический характер распределения изучаемой величины имеет свое экологическое содержание. Нормальное распределение возникает тогда, когда на изучаемую случайную величину не действует один значительный фактор, либо число значительных факторов велико, так что невозможно выделить один ведущий. Нормальное распределение позволяет предположить экологическую однородность изучаемой территории для произрастающих на ней растений. Кроме того, нормальный характер распределения позволяет выдвинуть гипотезу о том, что продукционный процесс растительного покрова на участке рекультивации находится в стационарном состоянии.

Тип техноземов, в сочетании с особенностями растительности, определяет уровень значений и особенности изменчивости фитомассы. Фитомасса ассоциаций *M. officinalis* является в большей степени чувствительной к типу техноземов по сравнению с фитомассой ассоциации *B. inermis* (рис. 3). Насыпной слой чернозема, лессы и лессовидные суглинки являются более продуктивными субстратами. Изменчивость фитомассы ассоциаций *M. officinalis* на этих субстратах (коэффициент вариации 43,0 и 30,9 % соответственно) меньше, чем на серо-зеленых (130,5 %) и красно-бурых (48,1 %) глинах.

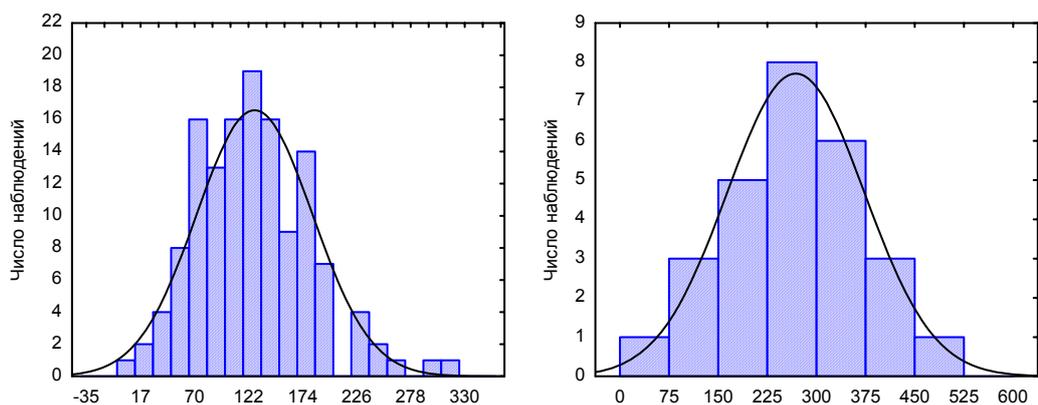


Рис. 2. Гистограмма распределения фитомассы (г/0,25 м²):
слева – ассоциация *Bromopsis inermis*, справа – *Melilotus officinalis*

Ассоциации *B. inermis* характеризуются наибольшей продуктивностью фитомассы на лессах и лессовидных суглинках, а наименьшей – на красно-бурых глинах. Насыпной слой чернозема и серо-зеленые глины занимают промежуточное положение. Изменчивость фитомассы в ассоциациях *B. inermis* наибольшая на красно-бурых глинах (44,6 %), на лессах и лессовидных суглинках (39,3 %), наименьшая – на насыпном слое чернозема (30,5 %) и на серо-зеленых глинах (33,9 %).

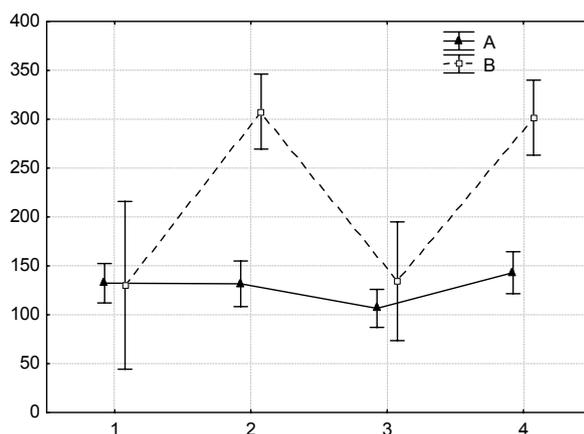


Рис. 3. Изменение фитомассы в зависимости от типа техноземов и растительных ассоциаций (г/0,25 м²): по оси абсцисс – типы техноземов: 1 – серо-зеленые глины, 2 – насыпной слой чернозема, 3 – красно-бурые глины, 4 – лесса и лессовидные суглинки; по оси ординат – фитомасса; растительные ассоциации: А – *Bromopsis inermis*, В – *Melilotus officinalis*; вертикальные линии указывают 95 % доверительный интервал

Влияние типа технозема и растительной ассоциации на фитомассу статистически достоверно, что подтверждает проведенный дисперсионный анализ (табл. 3). В проведенном анализе учтено действие таких факторов как тип растительных ассоциаций (два уровня фактора – *B. inermis* и *M. officinalis*), тип техноземов (четыре уровня – серо-зеленые глины, насыпной слой чернозема, красно-бурые глины, лессовидные суглинки) и их взаимодействие. Важным результатом дисперсионного анализа стало не только подтверждение зависимости фитомассы от типа растительности (тривиальный ре-

зультат, который является следствием габитуальных особенностей видов-эдификаторов) и типа техноземов, но и выявление взаимосвязи между этими свойствами агробиогеоценоза в их влиянии на продукцию.

Таблица 3

Дисперсионный анализ влияния типа техноземов и растительных ассоциаций на фитомассу

Переменная	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат эффекта	F	p-уровень
Свободный член	1795602	1	1795602	475,77	0,00
Ассоциации	121122	1	121122	32,09	0,00
Тип техноземов	152425	3	50808	13,46	0,00
Ассоциации * тип техноземов	92631	3	30877	8,18	0,00
Ошибка	573660	152	3774	–	–

Взаимодействие проявляет себя в том, что для ассоциаций *M. officinalis* наиболее предпочтительными техноземами являются лессовидные суглинки и насыпной слой чернозема. На этих субстратах ассоциации *B. inermis* не показывают существенного прироста фитомассы, но на красно-бурых глинах продукция этой растительной группировки существенно снижается.

Взаимодействие эдафических особенностей и специфика экологических связей внутри сообществ приводит к формированию закономерной изменчивости в пространстве фитомассы растительных ассоциаций (рис. 3).

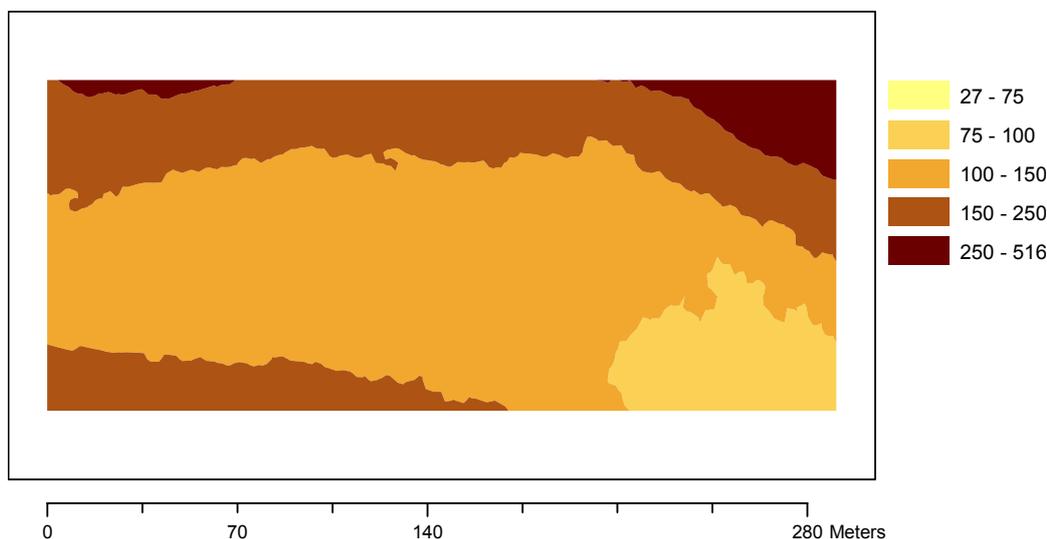


Рис. 3. Пространственное распределение фитомассы в пределах экспериментального участка (г/0,25 м²)

На карте показаны сплошные участки с высоким уровнем фитомассы (190–560 г/м²), связанные преимущественно с местами залегания насыпного слоя чернозема и лессовидных суглинков. Депрессии первичной продукции (уровни фитомассы 10–120 г/м²) связаны с серо-зелеными и красно-бурыми глинами.

Эдафические условия оказывают влияние на первичную продукцию. Воздействие агрегатного состава и количества гумуса может быть описано с помощью линейных регрессионных моделей (табл. 4, 5).

Таблица 4

Регрессионная модель влияния свойств техноземов (агрегатное состояние и гумус) на фитомассу ассоциации *Bromopsis inermis* ($R = 0,54$, $F_{(6, 126)} = 8,04$, $p < 0,001$)

Переменные	β	Ст. ошибка β	B	Ст. ошибка B	$t_{(126)}$	p
Свободный член	–	–	151,92	23,29	6,52	0,00
Агрегаты 7–10 мм	0,19	0,09	3,06	1,48	2,08	0,04
Агрегаты 3–5 мм	–0,17	0,10	–1,71	0,99	–1,73	0,09
Агрегаты 1–3 мм	–0,16	0,09	–1,09	0,58	–1,88	0,06
Агрегаты 0,25–0,50 мм	–0,31	0,10	–3,35	1,11	–3,02	0,00
Гумус, %	0,19	0,08	35,68	14,50	2,46	0,02

Примечания: β – стандартизированные регрессионные коэффициенты, B – регрессионные коэффициенты.

Для каждой модели отобраны наиболее информационно ценные совокупности предикторов, поэтому их перечни для двух типов растительных ассоциаций не совпадают. Ценность определялась по уровню значимости предиктора ($< 0,05$), а также изменением свойств модели после удаления предиктора из регрессионной совокупности. Переменная «Агрегаты 3–5 мм» не является статистически достоверной (уровень значимости 0,09) в регрессионной модели для *B. inermis*, однако удаление этой переменной значительно снижает уровень значимости коэффициентов для других переменных.

Таблица 5

Регрессионная модель влияния свойств техноземов (агрегатное состояние и гумус) на фитомассу ассоциации *Mellilotus officinalis* ($R = 0,93$, $F_{(9, 17)} = 11,96$, $p < 0,001$)

Переменные	β	Ст. ошибка β	B	Ст. ошибка B	$t_{(126)}$	p
Свободный член	–	–	–408,55	104,73	–3,90	0,00
Агрегаты 7–10 мм	0,76	0,20	28,26	7,42	3,81	0,00
Агрегаты 5–7 мм	0,60	0,22	22,68	8,25	2,75	0,01
Агрегаты 3–5 мм	1,73	0,28	45,09	7,42	6,08	0,00
Агрегаты 1–3 мм	–1,01	0,19	–22,73	4,20	–5,42	0,00
Агрегаты 0,5–1 мм	–0,37	0,19	–18,24	9,22	–1,98	0,06
Агрегаты 0,25–0,5 мм	–0,43	0,39	–14,57	13,21	–1,10	0,29
Агрегаты $< 0,25$ мм	–0,47	0,21	–13,68	6,00	–2,28	0,04
Гумус, %	0,45	0,10	218,27	47,38	4,61	0,00
$K_{ст-2}$	–3,87	0,66	–617,70	105,19	–5,87	0,00

Примечание: см. табл. 4.

Реакция растительных ассоциаций *B. inermis* и *M. officinalis* на действие эдафических факторов имеет свои особенности. Гумус способствует увеличению продуктивности растительных сообществ. Ассоциации *M. officinalis* более чувствительны к этому почвенному свойству ($\beta = 0,45$), чем ассоциации *B. inermis* ($\beta = 0,19$) (β – регрессионный коэффициент, рассчитанный для стандартизированных переменных, то есть они могут быть сравнены между собой). Для ассоциаций *M. officinalis* агрегатный состав является более важным стимулирующим фактором (для агрегатов 3–5 мм $\beta = 1,73$), чем количество гумуса. Для ассоциаций *B. inermis*, напротив, увеличение агрегатов размерами 0,25–5 мм негативно сказывается на продуктивности. Только увеличение количества агрегатов 7–10 мм способствует увеличению фитомассы.

Выводы

Влияние агрегатной структуры техноземов на фитомассу имеет общий характер для ассоциаций *B. inermis* и *M. officinalis*: увеличение крупных агрегатов (размером 7–10 мм для *B. inermis* и 3–10 мм для *M. officinalis*) позитивно сказывается на первичной

продукции. Увеличение мелких фракций негативно сказывается на биомассе растительных группировок.

Полученные результаты регрессионного анализа свидетельствуют о том, что в техноземах агрегаты с граничными размерами 3 мм оказывают противоположное влияние на рост растений. Увеличение количества агрегатов с размерами, превышающими 3 мм, способствует увеличению первичной продуктивности агробиогенезов на рекультивируемых участках.

Библиографические ссылки

1. **Бекаревич Н. Е.** Породы надрудной толщи и их агробиологическая оценка // О рекультивации земель в степи Украины. – Д. : Промінь, 1971. – С. 20–37.
2. **Грицан Ю. І.** Екологічне різноманіття агробіогенезів 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. Матер. III Українського екологічного конгресу. – 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 // Эколого-биологические и социально-экономические основы сельскохозяйственной рекультивации в степной черноземной зоне УССР // Труды ДСХИ. – Д., 1984. – С. 33–71.
4. **Родин Л. Е.** Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л. : Наука, 1968. – 143 с.
5. **Устойчивое** развитие сложных экотехносистем / В. И. Шемавнев, Н. А. Гордиенко, В. И. Дырда, В. О. Забалуев. – М.–Д., 2005. – 355 с.
6. **Цыганов Д. Н.** Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М. : Наука, 1983. – 196 с.
7. **Ellenberg H.** Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. – Stuttgart: Aufl. Ulmer, 1996. – 1096 s.
8. **Ellenberg H.** Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. – Göttingen: Goltze, 1974. – 97 s.
9. **Landolt E.** Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // Veroff. Geobot. Inst. ETH. – 1977. – Н. 64. – 208 s.

Надійшла до редколегії 12.01.2010