

**Т.П. Кохан**

## **ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В МОДЕЛЬНЫХ ОДНОВИДОВЫХ СООБЩЕСТВАХ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ**

искусственный травостой, биомасса, геометрическая структура сообщества, модель, однородное сообщество, продукционный процесс, продуктивность, площадь питания

### **Введение**

Создание многолетних искусственных травостоев на юго-востоке Украины является крайне необходимым для сохранения и восстановления трансформированных природных степных экосистем, а также для создания высокопродуктивных хозяйственно-полезных кормовых угодий. Сеяные многокомпонентные травостои длительного использования дают возможность получить значительное количество биомассы при минимальном вложении антропогенной энергии [11].

Продуктивность искусственных травостоев является основным их функциональным показателем, определяющим эффективность использования ресурсов среды, солнечной энергии и их структурной организации [5]. Изменение продуктивности за какие-либо временные отрезки называется продукционным процессом – сложной функцией баланса затраченной энергии на поддержание жизнедеятельности и прироста биомассы растения, за счет ее сохранения и накопления, зависящий от занимаемой площади – пространства для развития особи, с одной стороны, и площадью питания с определенным набором ресурсов, с другой [1, 2, 15, 16]. Исследование этого процесса необходимо для создания высокопродуктивных сообществ и управления ими [2, 3, 4, 6, 8].

### **Цель и задачи исследования**

Цель наших исследований – выявление особенностей продукционного процесса в одновидовых посевах многолетних трав семейства Poaceae.

Задачи исследований – сравнить продуктивность многолетних кормовых трав, установить закономерности формирования продуктивности травостоя от продуктивности отдельных особей в зависимости от плотности особей на 1 м<sup>2</sup> и площади питания.

### **Объекты и методика исследований**

В исследованиях использовали методику, разработанную для моделирования растительных сообществ с целью изучения процессов в них и создания определенного типа структуры сообщества, обеспечивающей первоначально равные условия для всех его членов (начальные величины площади и функции) [1, 2, 4]. Одним из таких типов сообществ является модель, учитывающая геометрическую структуру сообщества (например, квадратная решетка), которую использовали в своих исследованиях В.И. Василевич и В.П. Кириллова [3]. Наиболее простой структурой обладает геометрически почти однородное сообщество, под которым понимают сообщество, состоящее из генотипически одинаковых растений одного возраста, расположенных на однородной территории геометрически правильным способом [3, 13, 14]. В основе исследований использован системный подход при создании моделей искусственных растительных сообществ, как главный в экологии и биогеоценологии [9, 11, 13].

В 1996 г. в полевых условиях на территории Донецкого ботанического сада НАН Украины был заложен опыт с многолетними травами семейства Poaceae: *Arrhenatherum elatius* (L.) J. Presl & C. Presl, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv, *Dactylis glomerata* L., *Festuca regeliana* Pavl. на экспериментальных делянках площадью 1 м<sup>2</sup>. Растения высаживали на делянки рассадой в фазе развития 2-х настоящих листков. По схеме каждая особь была высажена

в углах квадратов со стороной 0,1 м, объединенных в квадратную (тетрагональную) решетку с первоначальной площадью питания 0,01 м<sup>2</sup> для каждого растения [3, 10]. Всего на делянке площадью 1 м<sup>2</sup> было высажено 100 растений. Полив применяли только при высаживании рассады растений. Удобрения не использовали. На протяжении первого и последующих лет исследований наблюдали за ростом, развитием растений в процессе вегетационного периода [5, 7]. Учет количества растений на делянках проводили в весенний и осенний периоды, продуктивности надземной массы – в фазу колошения – начала цветения растений [12].

### Результаты исследований и их обсуждение

Анализ динамики количества растений на опытных делянках на первом году жизни (1996 г.) показал, что первоначальное количество высаженных растений уменьшилось у всех видов злаков (от 44 до 96%). Наиболее чувствительными к выращиванию рассадным способом и пересадке оказались степные виды дерновинных злаков *Phleum phleoides*, *Agropyron pectinatum*. Их количество существенно уменьшилось до (44–47%). Такую же тенденцию отметили и у *Dactylis glomerata* и *Festuca regeliana*. Только у *Arrhenatherum elatius* во всех повторностях опыта первоначальное количество высаженных растений почти полностью сохранилось (96 %). К осени, вследствие элиминации отдельных особей у большинства видов исследуемых злаков, средняя площадь питания на одну особь увеличилась до 0,017–0,023 м<sup>2</sup>.

Весной, на второй год экспериментальных исследований (1997 г.) после перезимовки также наблюдали уменьшение количества особей у всех видов злаков от 7 до 24 %. Наиболее устойчивыми к перезимовке оказались молодые растения таких видов, как *Ar. elatius*, *P. phleoides* – погибло 7–9 % особей от количества оставшихся к зимнему периоду. Таким образом, весной 1997 г. площадь питания у особей всех исследуемых видов увеличилась (табл.).

Продуктивность растений всех исследуемых видов на 2-м году жизни была невысокой, несмотря на то, что все растения сформировали генеративные побеги, вступили в фазу колошения. На общую продуктивность трав с делянки повлияло количество растений или плотность растений на 1 м<sup>2</sup>. Наиболее высокая плотность растений сохранилась у *Ar. elatius* – 96 % от количества первично высаженных. У остальных исследуемых видов на второй год количество растений уменьшилось до 30 (*A. pectinatum*) – 48 (*F. regeliana*) шт., а площадь питания увеличилась до 0,030–0,035 м<sup>2</sup>.

Анализируя продуктивность растений на опытных делянках, нужно отметить, что увеличение площади питания одной особи на 3-м году жизни положительно отразилось на их биомассе, а также и на общей продуктивности надземной массы, полученной с делянок *F. regeliana* (масса надземной части особи 24,9 г, с делянки – 821,7 г); *D. glomerata* (особи – 12,2; с делянки – 446,9 г). У *Ar. elatius* количество особей уменьшилось на 33 %, что привело к увеличению площади питания растений, а, следовательно, и продуктивности с делянки (в среднем 696,8 г).

На четвертом году жизни у *A. pectinatum* уменьшение количества особей до 16 шт. на 1 м<sup>2</sup> оказалось самым оптимальным для роста и продуктивности взрослых особей (см. табл.). Также было выявлено, что оптимальная площадь питания для особей, при которой можно получить наибольшую продуктивность надземной массы, у исследуемых видов не одинаковая: у *D. glomerata*, *Ar. elatius* она составила 0,015–0,025 м<sup>2</sup>, а у *F. regeliana* – 0,030 м<sup>2</sup> и *P. phleoides* – от 0,018 до 0,036 м<sup>2</sup>. Растения *A. pectinatum* нуждаются в значительно большей площади питания – 0,062–0,066 м<sup>2</sup>, так как взрослая особь вида, в экспериментально заданных условиях выращивания, способна занимать значительную площадь (до 4–5% делянки).

Дальнейшее уменьшение количества особей на опытной делянке и увеличение площади питания на пятый год функционирования травостоя не приводит к увеличению надземной массы особей, а наоборот, к постепенному ее уменьшению. Продуктивность сухой надземной массы у *D. glomerata* резко снижается в сравнении с другими видами. Это объясняется жизненным

Таблица. Динамика продуктивности растений многолетних трав в зависимости от их количества и площади питания за 1996–2004 гг.

Вид	Год	Продуктивность		Количество особей, от исходно высаженных, %	Площадь питания одного растения, м <sup>2</sup>
		общая, г/м <sup>2</sup>	одного растения, г/м <sup>2</sup>		
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J. Presl & C. Presl	1996	—*	—*	96	0,010
	1997	217,2±5,08	2,44±0,22	89	0,011
	1998	696,8±15,31	10,4±0,61	67	0,015
	1999	367,6±13,56	8,17±0,27	45	0,022
	2000	283,8±5,12	6,45±0,75	44	0,023
	2001	366,3±13,02	5,55±0,54	66	0,015
	2002	145,4±4,81	4,04±0,45	36	0,027
	2003	50,31±2,15	2,55±0,43	32	0,031
	2004	115,2±3,96	5,76±0,71	35	0,029
<i>Agropyron pectinatum</i> (M. Bieb.) P. Beauv.	1996	—*	—*	100	0,010
	1997	268,8,0±	11,5±1,33	34	0,023
	1998	370,0±13,21	18,5±2,05	20	0,050
	1999	411,0±14,18	25,7±3,06	16	0,062
	2000	242,3±11,41	17,3±3,65	14	0,071
	2001	299,2±10,39	19,9±3,98	15	0,066
	2002	188,2±9,26	8,96±1,71	21	0,047
	2003	49,0±2,03	3,97±0,82	20	0,05
	2004	118,13±4,12	11,8±2,82	28	0,036
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	1996	—*	—*	100	0,010
	1997	328,0±13,02	5,38±0,65	47	0,021
	1998	240,0±10,81	5,53±0,43	38	0,026
	1999	162,7± 5,20	5,81±1,01	28	0,036
	2000	127,5±3,96	4,25±0,56	30	0,033
	2001	502,7±14,91	9,14±0,75	55	0,018
	2002	151,1±4,32	5,21±0,60	29	0,034
	2003	47,2±2,12	1,75±0,22	25	0,04
	2004	—**	—**	25	0,037
<i>Dactylis glomerata</i> L.	1996	—*	—*	27	0,001
	1997	709,1±16,34	13,4±0,41	58	0,017
	1998	476,9±14,51	12,2±1,42	39	0,025
	1999	339,8±13,28	10,6±2,71	32	0,031
	2000	62,0±2,04	3,10±0,65	20	0,050
	2001	267,5±12,08	8,88±1,75	29	0,034
<i>Dactylis glomerata</i> L.	2002	81,2±3,12	3,53±0,67	23	0,043
	2003	37,8±2,54	4,73±1,60	20	0,050
	2004	84,16±3,05	4,37±1,56	21	0,045
<i>Festuca regeliana</i> Pavl.	1996	—*	—*	100	0,010
	1997	521,6±14,31	16,3±0,39	53	0,019
	1998	821,7±17,42	24,9±0,47	33	0,030
	1999	328,4±13,11	12,6±2,52	26	0,038
	2000	282,3±10,23	11,3±1,33	25	0,038
	2001	224,0±10,11	6,75±0,89	36	0,027
	2002	200,2±10,16	4,55±0,53	44	0,023
	2003	67,64±3,21	5,21±0,60	41	0,024
	2004	302,5±11,9	16,4±1,27	46	0,022

Примечания: \*учет продуктивности растений 1-го года жизни не проводили; учет количества особей на 1-й год жизни проводили в конце вегетации; \*\*— элиминация взрослых особей вида.

циклом этого вида: уже на четвертый год среди его особей появляются субсенильные, отмирающие на пятый год жизни, а оставшиеся старые особи не формируют генеративных побегов [3, 9].

На шестом году исследований наблюдается увеличение общей продуктивности у некоторых изучаемых видов. Так, наибольшая масса воздушно-сухого вещества была получена у *P. phleoides* (502,7 г). Продуктивность вида возрастает резко, скачкообразно, что связано с ростом и развитием самосева. Незначительно повысилась продуктивность в опыте также у *Ar. elatius* и *D. glomerata*. Но, несмотря на увеличение массы особи у *A. pectinatum* на третий и четвертый годы жизни, рост его продуктивности с делянки незначительный, что связано с элиминацией особей. Увеличение площади питания сохранившихся особей у *A. pectinatum*, *D. glomerata*, *P. phleoides* не приводит к ожидаемому росту продуктивности, так как в травостой исследуемых злаков начинают внедряться бобовые и сорные виды. У *F. regeliana* также наблюдается снижение продуктивности растений, хотя количество ее особей увеличивается за счет молодых особей вегетативного происхождения – рамет.

Вторичное уменьшение показателей продуктивности во всех вариантах эксперимента нами отмечено на седьмом году у *Ar. elatius*, *A. pectinatum*, *F. regeliana* в результате гибели старых особей и замены их самосевом (генетами) и раметами. В этот период наступает массовое внедрение в опытные варианты бобовых и сорных видов. На восьмом году происходит рост продуктивности у большинства исследуемых видов трав, а также элиминация почти 95 % особей у *P. phleoides*.

Продукционный процесс многолетних трав семейства Poaceae представляет собой кривую с пиками возрастания биомассы особей и отрезками убывания их биомассы. Первый пик – за счет выпada «лишних» особей и оптимизации среды обитания, увеличения площади питания для особей, наиболее эффективно использующих условия произрастания, а затем последующие пики незначительного роста продуктивности, или «всплеска», за счет появления молодых особей семенного или вегетативного происхождения (рис.1).

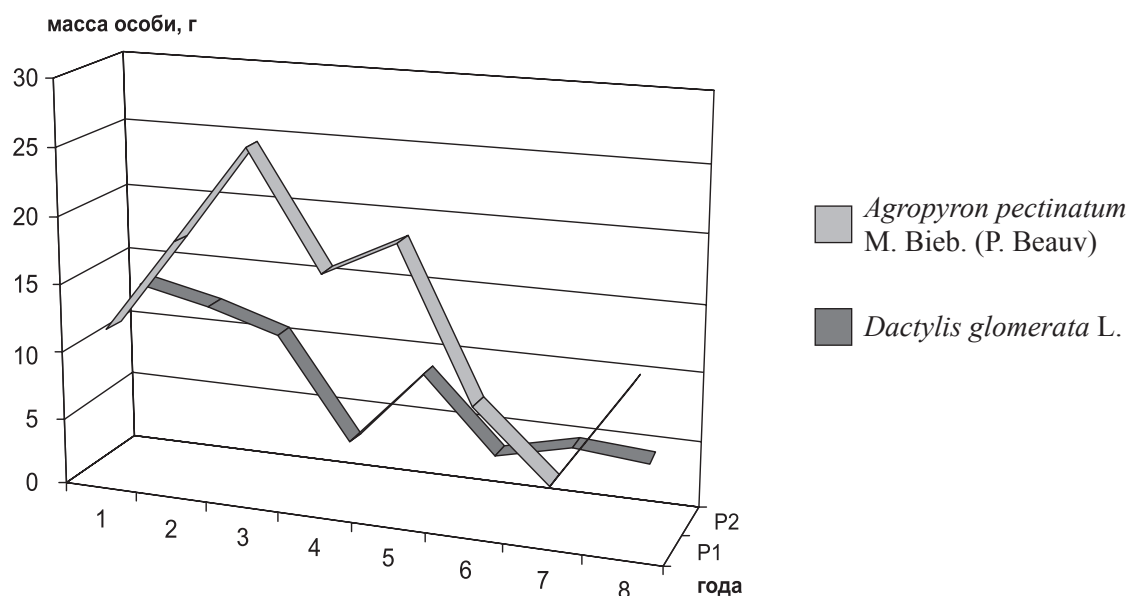


Рис. 1. Особенности продукционного процесса дерновинных многолетних трав семейства Poaceae в одновидовых посевах

Полученные нами данные по многолетним травам из семейства Poaceae полностью совпадают с математической моделью В.В. Галицкого и А.С. Комарова [2, 4]. То есть, в одновидовых травостоях многолетних трав семейства Poaceae наблюдаются колебательные изменения биомассы растений при последовательном увеличении доступной им площади роста. Также, нами выявлено, что продукционный процесс у некоторых видов многолетних корневищных и дерновинных злаков имеет свои особенности. Так, например, у *F. regeliana* и *A. pectinatum* он характеризуется пиками

роста на третий год жизни за счет оптимизации среды обитания и седьмой – восьмой годы жизни, когда у *F. regeliana* массово появляются раметы, а у *A. pectinatum* – генеты (рис.2). Продукционный процесс длиннокорневищных и дерновинных видов отличается и на пятом – шестом годах жизни: если у дерновинных злаков наблюдается еще один «всплеск» роста продуктивности на четвертый – пятый годы жизни, то у длиннокорневищных видов его нет (рис 2).

### Заклучение

масса, г

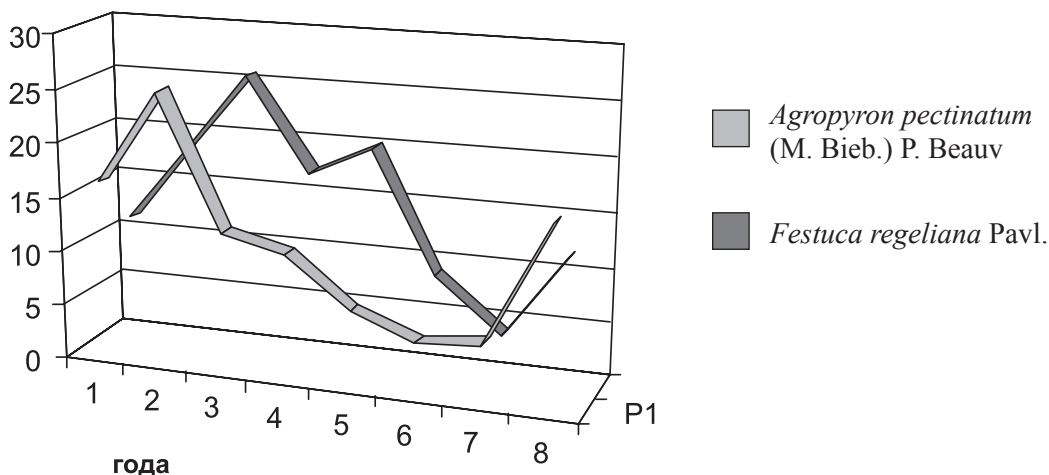


Рис. 2 Особенности продукционного процесса дерновинных и корневищных многолетних трав семейства Poaceae в одновидовых посевах

Анализ показателей продуктивности отдельных дерновинных и длиннокорневищных видов многолетних трав семейства Poaceae за значительный промежуток времени позволил получить ценные данные об их продукционном процессе. Результаты исследований показали, что продукционный процесс многолетних кормовых трав в одновидовых сообществах зависит как от количества особей на делянке, площади питания в расчете на 1 особь, так и от биологических особенностей видов и их внутривидового взаимодействия. Он характеризуется колебательными изменениями биомассы растений при последовательном увеличении доступной им площади роста. Продукционный процесс у видов многолетних трав с длиннокорневищной корневой системой и дерновинных злаков имеет свои отличительные особенности.

1. Галицкий В.В. О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе / В.В. Галицкий // Моделирование биоценологических процессов: Сб. статей [АН СССР. Ин-т агрохимии и почвоведения]. – М.: Наука, 1981. – С. 104–118.
2. Галицкий В.В. Модель динамики биомассы дерева / В.В. Галицкий, А.С. Комаров // Пушино, 1978. – 21 с.
3. Василевич В.И. Экспериментальное изучение взаимоотношений *Trifolium pratense* L. (Fabaceae) / В.И. Василевич, В.П. Кириллова // Ботан. журн. – 1993. – Т. 70. № 9. – С. 34–43.
4. Комаров А.С. Моделирование взаимодействующих популяций вегетативно-подвижных трав / А.С. Комаров, М.М. Паленова // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы, отд. биол. – 2001. – Т. 106, вып. 5. – С. 34–42.
5. Кириченко Е.Б. Экофизиология мяты: продукционный процесс и адаптационный потенциал / Е.Б. Кириченко. – М.: Наука, 2008. – 140 с.
6. Корзухин М.Д. Выбор переменных в задаче о динамике фитоценоза / М.Д. Корзухин. Моделирование биоценологических процессов: Сб. статей [АН СССР. Ин-т агрохимии и почвоведения]. – М.: Наука, 1981. – С. 94–103.
7. Лапин П.И. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / П.И. Лапин // Бюл. Гл. ботан. сада АН СССР. – 1979. – Вып. 113. – С. 28–35.
8. Лямкина Ю.Б. Моделирование продукционного процесса бобовых растений на примере сои /



- Ю.Б. Лямкина // Изв. Алтайского гос. ун-та. – 2010. – Вып. 1. – С. 93–96.
9. *Ляпунов А.А.* О математическом моделировании в проблеме «Человек и биосфера» / А.А. Ляпунов // Моделирование биогеоэкологических процес сов: Сб. статей [АН СССР. Ин-т агрохимии и почвоведения]. – М.: Наука, 1981. – С. 8.
  10. *Методические* указания по изучению коллекций многолетних трав. – Л., 1979. – 97 с.
  11. *Программа* и методика биоэкологических исследований. – М.: Наука, 1974. – 403 с.
  12. *Работнов Т.А.* Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т.А. Работнов // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. – 1950. – Вып. 6. – С. 7–20.
  13. *Розенберг Г.С.* Модели в фитоценологии / Г.С. Розенберг.– М.: Наука, 1984. – 240 с.
  14. *Резниченко Г.Ю.* Математические модели биологических продукционных процессов / Г.Ю. Резниченко, А.Б. Рубин. – М., 1993.
  15. *Ermentrout G.B.* Cellular automata approaches to biological modeling / G.B. Ermentrout, L. Ecelstein-Keshet // J. of Theoretical Biology. –1993. – № 160. – P. 97–133.
  16. *Calasanti R.L., Crime J.P.* Resource dynamic and vegetation processes: A deterministic model using two-dimensional cellular automata / R.L. Calasanti, J.P. Crime // Funcional Ecology. – 1993. – Vol.7, № 2. – P. 169–176.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 04.10.2012

УДК 633.2:581.55(477.60)

#### ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В МОДЕЛЬНЫХ ОДНОВИДОВЫХ СООБЩЕСТВАХ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Т.П. Кохан

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Приведены данные о продукционном процессе многолетних трав семейства Poaceae. Полученные данные у дерновинных злаков полностью совпадают с математической моделью, которая была построена В.В. Галицким и А.С. Комаровым для однолетних злаков и кустарников. Результаты исследований показали, что продукционный процесс многолетних кормовых трав в одновидовых сообществах зависит как от количества особей на делянке, площади питания в расчете на 1 особь, так и от биологических особенностей видов и их внутривидового взаимодействия. Продукционный процесс видов многолетних трав семейства Poaceae имеет свои особенности у различных жизненных форм растений (дерновинных и длиннокорневищных).

UDC 633.2:581.55(477.60)

#### PRODUCTION PROCESS IN THE MODEL SINGLE-CROP COMMUNITIES OF GRASS PERENNIALS

T.P. Kokhan

Donetsk Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine

Data on the production process of grass perennials of the Poaceae family are recorded. Data, obtained for the sod grasses are fully coinciding with a mathematical model, constructed by V.V.Galitskiy and A.S. Komarov for the annual grasses and shrubs. The results of the study have shown that the production process of the fodder grass perennials in single-crop communities depends on a number of individuals per a plot and feeding area calculated for an individual, and also it depends on the biological peculiarities of species and their interrelations. There are certain peculiar features of the production process of the grass perennial species of the Poaceae family, recorded for various plant biomorphs (sod and long-rhizomatous ones)