

УДК 631.461.7

UDC 631.461.7

**ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ  
ВЫНОСА АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ  
РАСТЕНИЯМИ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА  
МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

**JUSTIFICATION OF THE DYNAMICS MODEL  
OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND  
POTASSIUM TRANSFER BY WHEAT PLANTS  
INTENDED FOR MINERAL FOOD MODE  
OPTIMIZATION**

Козлечков Гелий Алексеевич  
к.б.н.

Kozlechkov Gely Alekseevich  
Cand.,Biol.Sci.

Лабынцев Александр Валентинович  
д.с.-х.н.  
*ГНУ Донской НИИСХ Россельхозакадемии,  
п. Рассвет, Россия*

Labyntsev Alexander Valentinovich  
Dr.Sci.Agr.  
*SSI Don SRIA RAAS, Rassvet, Russia*

В статье показана упорядоченность нарастания фитомассы главного побега и целых растений пшеницы, наблюдаемая до момента прекращения роста, совпадающего с окончанием цветения. Выявленная упорядоченность определяет динамику выноса из почвы элементов N,P,K. Предложена математическая модель для определения динамики выноса N,P,K из корнеобитаемого слоя почвы

In this article, the orderliness of the wheat plants phytomass increase has shown, observed until plants growth stopping time, which concurs with flowering ending. The discovered orderliness determinates the nitrogen, phosphorus and potassium (N, P, K) transfer dynamics. The mathematical model of N,P,K elements carrying out from roots - inhabited soil layer has been proposed

Ключевые слова: УПОРЯДОЧЕННОСТЬ,  
МОДЕЛЬ, РАСТЕНИЕ, ПОБЕГ, МОРФОФАЗА

Keywords: ORDERLINESS, MODEL, PLANT,  
ESCAPE, MORPHOFASA

Извлечение элементов минерального питания из корнеобитаемого слоя почвы происходит путем их поглощения корнями для построения вегетативных и репродуктивных органов растения. Процесс поглощения осуществляется непосредственно каждым индивидуальным растением агроценоза и поэтому напрямую зависит от характера роста растения во времени, определяемого его природой (генотипом). Суммарное же поглощение опосредованно будет зависеть от числа растений на единице площади, которое может быть существенно различным в зависимости от задаваемых норм высева. Отсюда следует, что более устойчивым признаком при определении выноса (поглощения) элементов минерального питания является характер роста, определяющий изменение средней массы растения во времени. Поэтому при разработке биологических основ модели выноса N, P, K предпочтение отдано характеру нарастания фитомассы побега и растения во времени.

Исследования проводились в ГНУ Донской НИИСХ. Объекты исследования - пшеницы дикорастущая *T. urartu*, культурные *T. aestivum* сорт Московская 35 и *T. durum* сорт Степь 3.

Пшеница дикорастущая и культурная сорта Московская 35 исследовались в вегетационном эксперименте. Методика эксперимента изложена в монографии [5]. Исследования с яровой твердой пшеницей сорта Степь 3, выращиваемой после люцерны на черноземе обыкновенном, проведены в полевом опыте на стационаре К. При проведении исследований осуществлялся отбор проб растений, определение содержания сухого вещества и N, P, K. Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по Доспехову Б.А. [2].

Отбор проб осуществлялся по возрастным морфологическим состояниям (морфофазам) побега в трехкратной повторности на варианте без внесения минеральных удобрений и с внесением  $N_{60}P_{30}K_{60}$ . Для определения фитомассы главного побега отбирались дополнительные пробы растений.

Высушивание растений проводилось в сушильном шкафу марки Binder при температуре 60<sup>0</sup>С.

Взвешивание высушенных растений первых проб проводилось на электронных весах марки CCS Servies T-72 Si (разрешающий диапазон 720-0.001 г), а проб последних сроков отбора – на рычажных весах ВНЦ-2 с разрешающим диапазоном 2000-2 г.

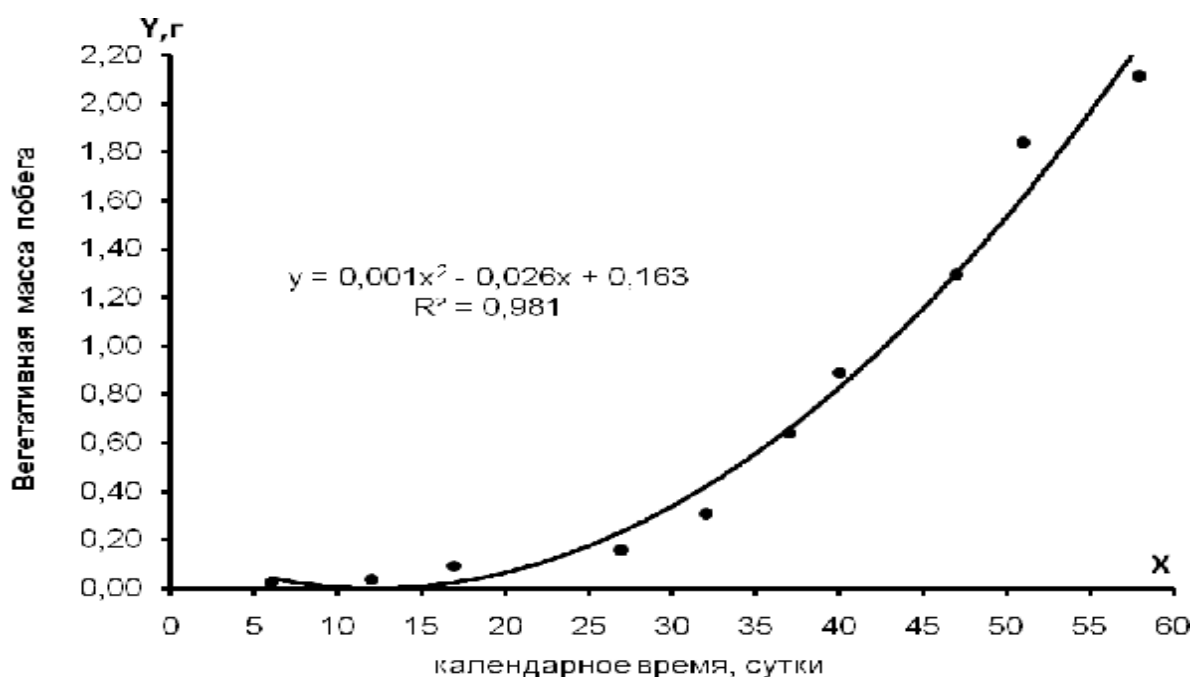
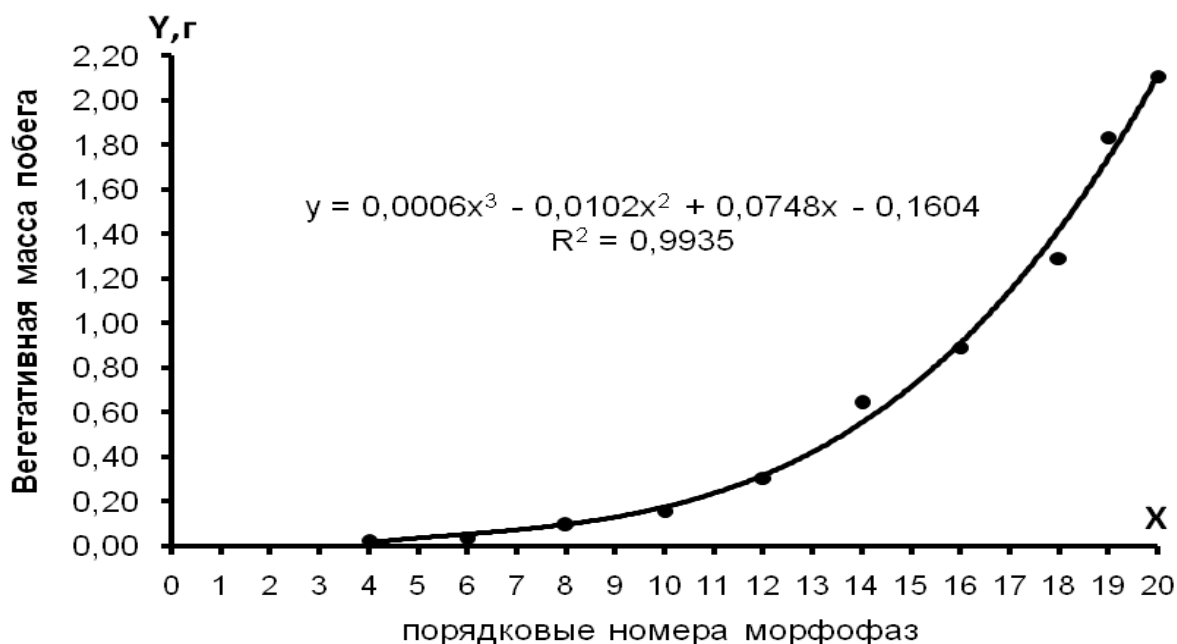
Определение содержания общего азота проводилось по методу Кельдаля (ГОСТ 13 496.4-93), калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30 504-97) и фосфор по ГОСТ 26657-97.

Математическое выражение связи изменения средней фитомассы главного побега, фитомассы проб и биологического (по морфофазам) и календарного (сутки) времени получено с помощью стандартных вычислительных программ Microsoft Exsel.

Определение выноса N, P, K требует также информации о доли массы корней в общей фитомассе растения и соотношении массы его корней и надземной (стеблевой) части по ходу роста и формирования. В статье использованы литературные данные по этому вопросу, а также экспериментальные данные, полученные в вегетационном опыте в Лаборатории генетики минерального питания растений Донской НИИСХ.

Экспериментальные данные, вынесенные в прямоугольную систему координат, показали, что нарастание средней массы побега в абсолютном выражении (г) по ходу его роста и развития происходит по нелинейной зависимости с высокой теснотой связи как в календарном (сутки), так и в биологическом времени по морфофазам (рис. 1). Вегетативная масса побега, достигающая своего максимума в конце цветения, может существенно различаться в зависимости от условий выращивания и еще в большей мере от ploидности. Поэтому и значения коэффициентов в формулах нелинейных кривых будут также различаться, если нарастание массы во времени выразить в абсолютном значении (г). Это существенно ограничивает их использование для прогнозных расчетов. Для этой цели необходим общий устойчивый показатель, отражающий ход нарастания вегетативной массы побегов пшениц, несмотря на их существенное различие по конечной массе в зависимости от условий выращивания или различия по уровню ploидности.

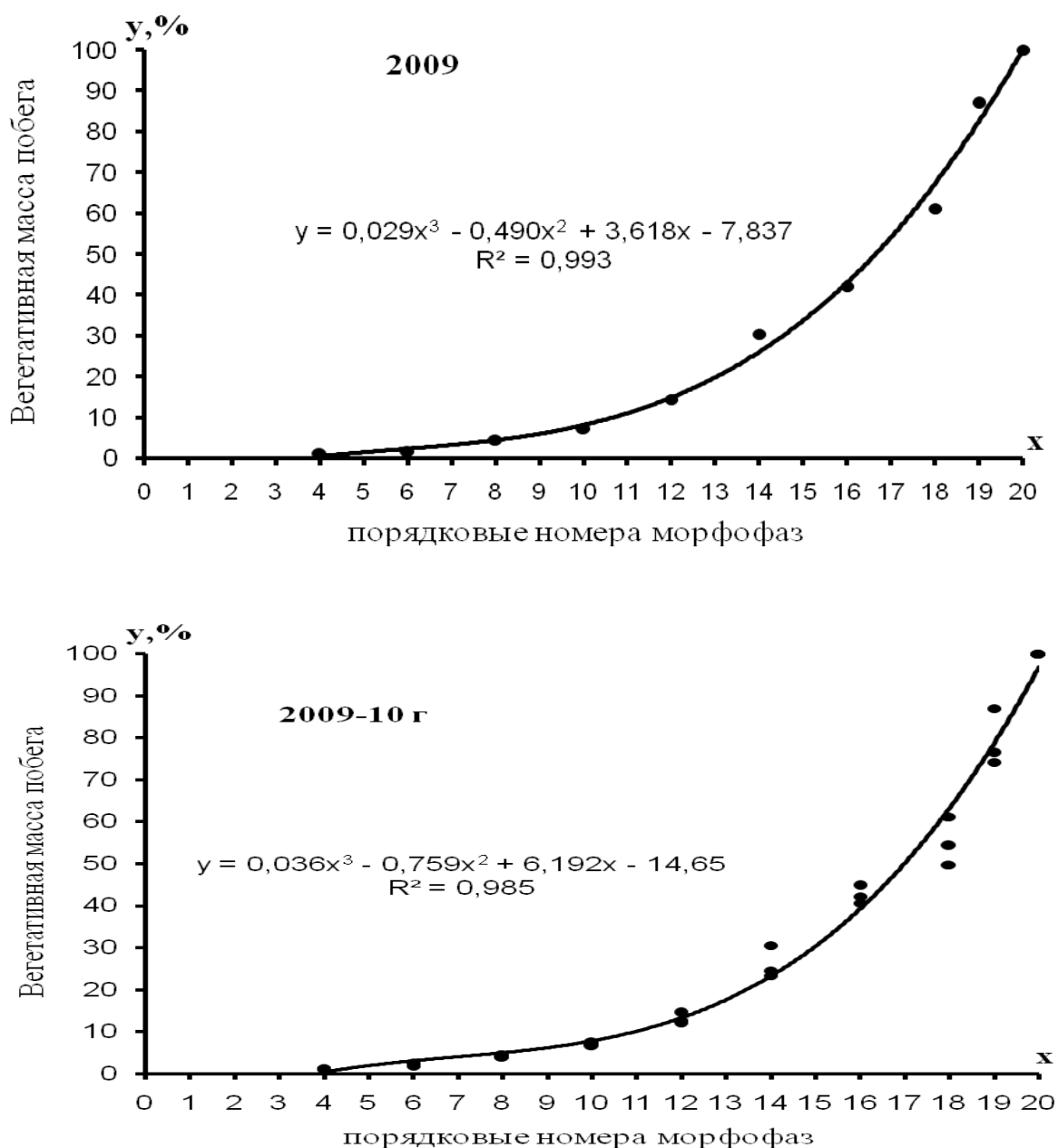
Анализ полученных данных показал, что таким показателем может служить изменяющаяся во времени масса побега, выраженная в относительной форме (%) по отношению к его максимальной массе (г) в конце колошения и начале цветения, принятой за 100%. При этом высокая теснота связи и вид нелинейной зависимости изменения величины вегетативной массы побега воспроизводится по годам (рис. 2).



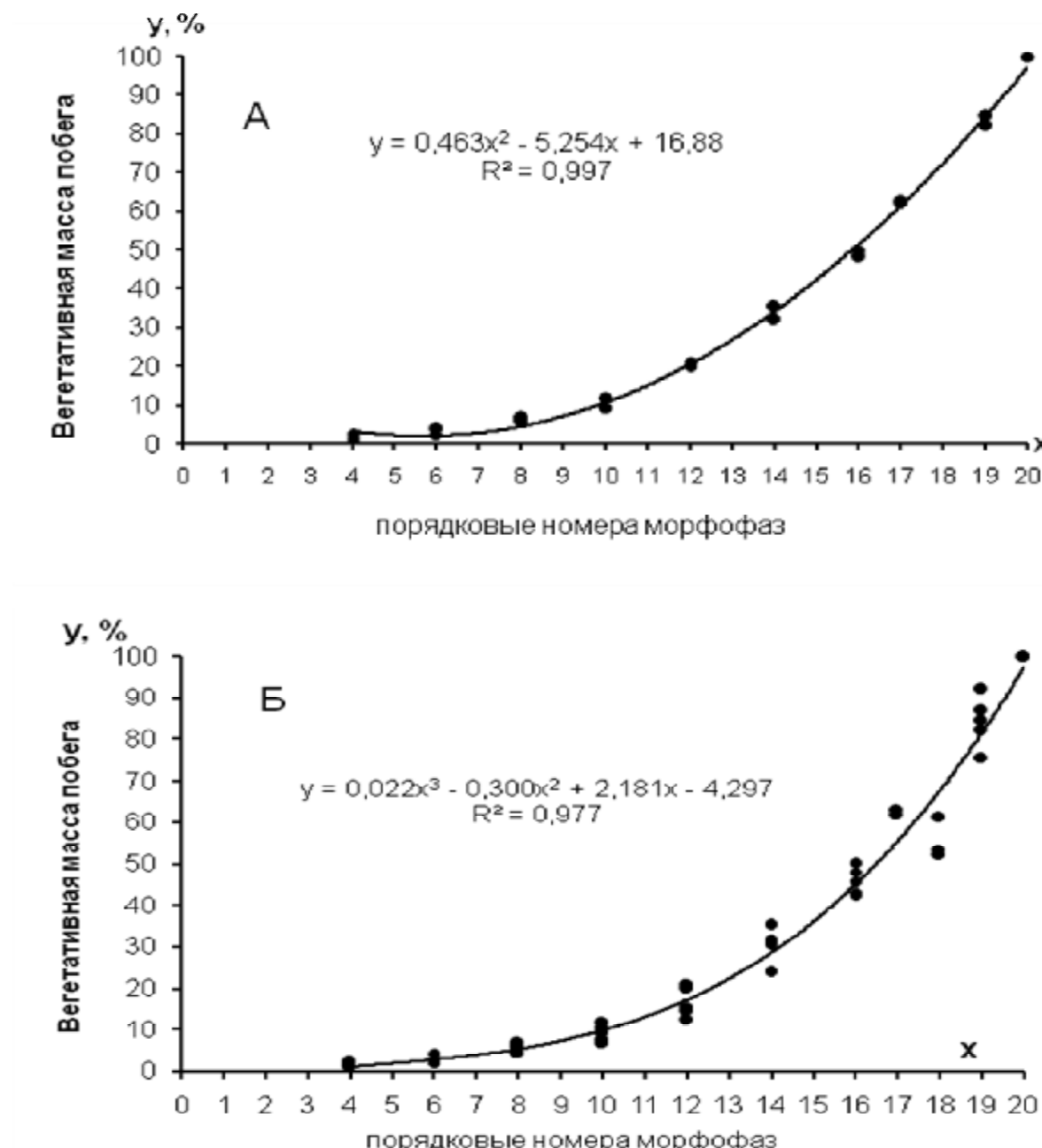
**Рис.1.** Изменение среднего веса главного побега (Y, г) растений твердой яровой пшеницы сорта Степь 3 в биологическом (по морфофазам, начиная с морфофазы 1—1, когда первый лист уже сформирован, а второй еще растет) и календарном (сутки) времени (X) при выращивании на черноземе обыкновенном после люцерны

Ранее было установлено, что аналогичная тесная нелинейная зависимость имеет место у дикорастущей пшеницы *T.urartu* и пшеницы мягкой [5]. Важно при этом, что зависимость была для них единой, несмотря на то, что масса побега дикорастущей пшеницы почти вдвое была меньшей, чем у мягкой. Сравнение полученных данных по изменению величин побегов, выраженных в относительной форме, у пшениц дикорастущей, мягкой и пшеницы твердой сорта Степь 3 (за три года исследований) показало, что их побеги имеют один и тот же единый вид нелинейной зависимости с высокой теснотой связи. Экспериментальные данные по всем этим видам пшениц образуют единое корреляционное поле (рис. 3). Вид этой единой нелинейной зависимости содержит признаки закономерности, поскольку имеет место у различных по плоидности видов (диплоидной дикорастущей, тетраплоидной твердой, гексаплоидной мягкой) пшениц, выращенных в полевых условиях (пшеница твердая) и в условиях вегетационного эксперимента в сосудах (пшеницы дикорастущая и культурная мягкая). В основе высокой упорядоченности полученной нелинейной связи лежат два существенных явления в жизнедеятельности пшеницы. В фитоморфологии злаковых растений показано [12], что у генеративных побегов каждый сформированный лист по своей массе тяжелее смежного предыдущего. Это означает, что прирастание массы формирующегося побега происходит за счет все более тяжелого органа, кончая колосом, масса которого в колошение существенно тяжелее, чем масса предфлагового и флагового листьев. При этом упорядочены и донорно-акцепторные отношения листьев. Упорядоченность выражается в том, что ассимиляты уже сформированных листьев направляются в зоны роста еще формирующихся, а затем и в растущий колос, связывая их в единую последовательную причинно-следственную цепочку в составе побега [6]. Это приводит к тому, что конечная вегетативная масса побега в конце

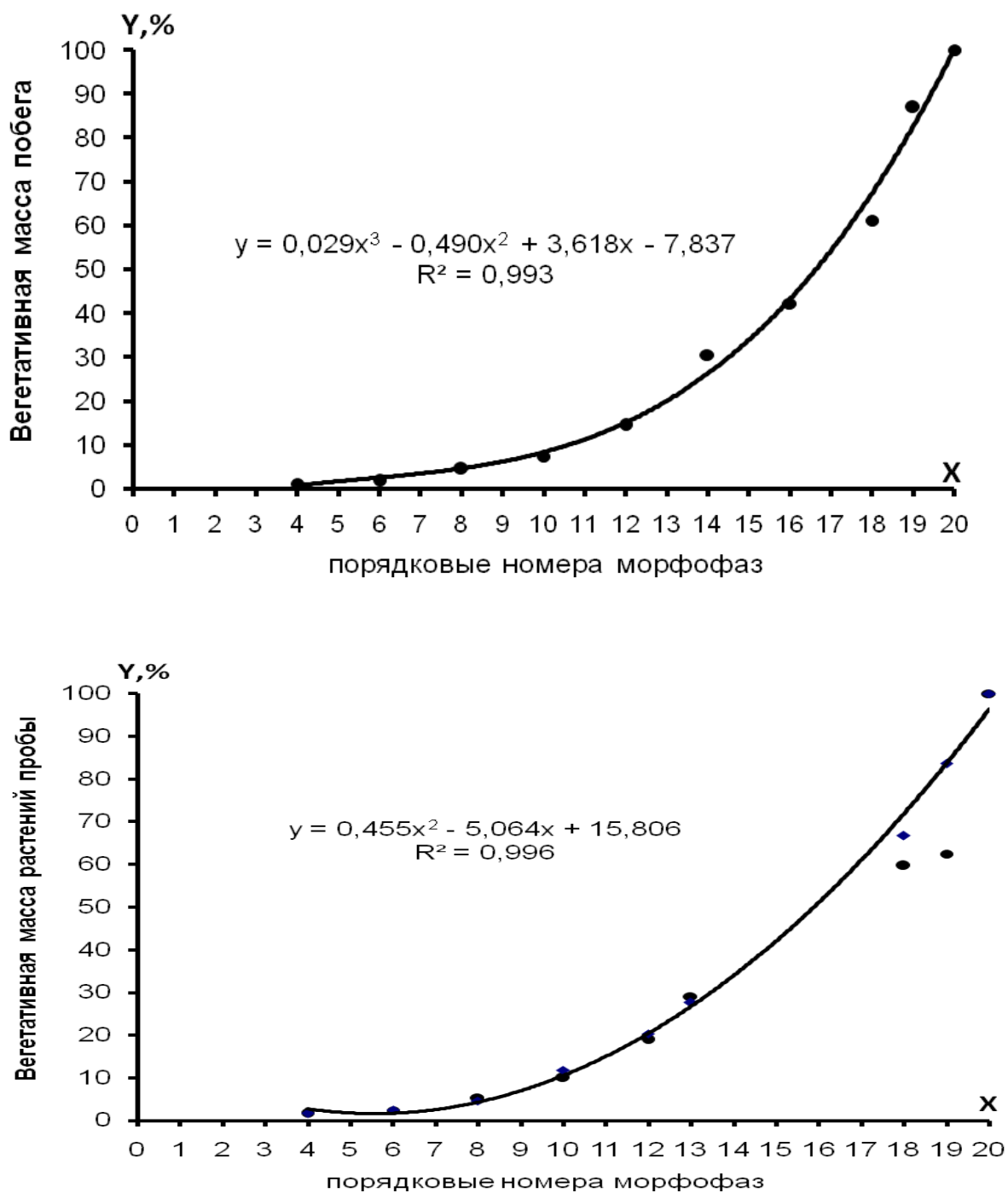
цветения оказывается зависимой от всех предыдущих сформированных листьев. Поскольку главный побег и его боковые побеги формируются по одной морфогенетической закономерности, то характер нарастания массы проб во времени повторяет характер нарастания массы главного побега (рис.4).



**Рис. 2. Изменение средней вегетативной массы главного побега твердой яровой пшеницы сорта Степь 3 в % (Y) по отношению к его конечной фитомассе в конце цветения (X) по ходу роста, начиная с морфофазы 1—1, при выращивании после люцерны**



**Рис. 3. Изменение среднего веса главного побега в онтогенезе по морфофазам (X) в процентах по отношению к его конечной массе в колошение (Y) у растений мягкой пшеницы *T. aestivum*, дикорастущей пшеницы *T. urartu*, выращенных в сосудах (А), и при объединении с трехлетними данными по твердой яровой пшенице *T.durum* сорта Степь 3 (Б), выращиваемой после люцерны на черноземе обыкновенном**



**Рис. 4. Изменение средней вегетативной массы главного побега и растений пробы с  $0.25\text{м}^2$  (Y) твердой яровой пшеницы сорта Степь 3 по морфофазам (X) в процентах по отношению к конечной фитомассе в цветение при выращивании после люцерны на черноземе обыкновенном**



Упорядоченный характер динамики нарастания фитомассы побегов и проб растений в свою очередь определяет характер динамики выноса N, P, K во времени. Вынос элементов минерального питания следует за нарастанием надземной фитомассы растений (табл. 1) в соответствии с их процентным содержанием в фитомассе (табл. 2).

**1. Динамика выноса N, P, K из корнеобитаемого слоя почвы надземной фитомассой растений пшеницы сорта Степь 3 по ходу роста от морфофазы 1—1 и по 8—кc (фаза колошения)**

Дата отбора	Морфо-фазы	Число растений на 1 м <sup>2</sup>	Вес растений, г на 1 м <sup>2</sup>	Вынос минеральных элементов					
				г на 1м <sup>2</sup>			кг на 1 га		
				N	P	K	N	P	K
Контроль									
24.04	1—1	448	11.8	0.47	0.14	0.47	4.7	1.4	4.7
30.04	2—1	440	16.9	0.58	0.17	0.68	5.8	1.7	6.8
5.05	3—1	507	37.8	1.36	0.39	1.62	13.6	3.9	16.2
15.05	4—1	536	70.7	2.33	0.76	2.73	23.3	7.6	27.3
20.05	5—1	507	133.8	4.43	1.40	5.11	44.3	14.0	51.1
26.05	6—2	457	206.0	5.85	2.18	7.83	58.5	21.8	78.3
4.06	8—0	507	422.7	8.50	2.54	12.38	85.0	25.4	123.8
8.06	8—0 <sup>1</sup>	499	442.0	7.78	2.70	10.92	77.8	27.0	109.2
15.06	8—кc	385	708.0	13.03	4.11	14.80	130.3	41.1	148.0
Вариант N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>									
24.04	1—1	505	12.84	0.50	0.15	0.48	5.1	1.5	4.8
30.04	2—1	521	19.60	0.68	0.21	0.80	6.8	2.1	8.0
5.05	3—1	519	35.72	1.25	0.40	1.49	12.5	4.0	14.9
15.05	4—1	510	92.24	3.04	0.99	3.41	30.4	9.9	34.1
20.05	5—1	489	158.72	5.86	1.70	5.87	58.6	17.0	58.7
26.05	6—2	480	215.92	6.17	2.18	7.62	61.7	21.8	76.2
4.06	8—0	489	520.0	11.30	3.43	14.5	113.0	34.3	145.0
8.06	8—0 <sup>1</sup>	445	652.0	13.56	4.04	17.54	135.6	40.4	175.4
15.06	8—кc	471	780.0	14.51	4.68	16.38	145.1	46.8	163.8

Экспериментальные данные показывают, что содержание элементов в фитомассе растений по ходу роста от начала стеблевания к колошению уменьшается, а соотношение элементов остается постоянным. Содержание калия незначительно превышает содержание азота. Содержание фосфора в два-три раза уступает содержанию калия и азота. Такой характер соотношения элементов воспроизводится по годам.

**2. Процентное содержание N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O в вегетативной надземной фитомассе и зерне растений твердой яровой пшеницы сорта Степь 3, выращенных после люцерны на черноземе обыкновенном на вариантах контрольном и с внесением N<sub>60</sub> P<sub>30</sub> K<sub>60</sub>**

Возраст растений	2009						2010					
	контроль			N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>			контроль			N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1—1	3.98	1.15	3.95	3.95	1.20	3.70						
2—1	3.44	1.04	4.04	3.48	1.08	4.07	3.54	1.18	3.67	3.68	1.27	4.51
3—1	3.61	1.03	4.29	3.51	1.13	4.14	3.30	1.12	4.11	3.47	1.23	4.28
4—1	3.30	1.07	3.86	3.30	1.08	3.70	3.70	1.25	4.74	3.58	1.32	4.86
5—1	3.31	1.05	3.82	3.69	1.07	3.70	3.23	1.25	4.24	3.35	1.26	4.32
6—1							3.59	1.21	3.96	3.43	1.31	3.97
7—1	2.84	1.06	3.80	2.86	1.01	3.53	2.28	0.64	3.25	2.28	0.79	3.47
8—0	2.01	0.60	2.93	2.18	0.66	2.79	1.91	0.82	2.77	2.26	0.90	2.98
8—0 <sup>1</sup>	1.76	0.61	2.47	2.08	0.62	2.69	1.31	0.62	2.09	1.28	0.62	2.12
8—кс	1.84	0.58	2.09	1.86	0.60	2.10	1.17	0.59	1.75	1.29	0.65	1.95
зерно	2.50	0.95	0.65	2.79	1.01	0.65	2.80	1.05	0.63	2.90	1.11	0.65
солома	0.50	0.12	1.18	0.46	0.10	1.23	0.30	0.08	0.97	0.32	0.07	1.05

Для разработки модели выноса элементов минерального питания необходима также информация о фитомассе корневой системы, содержании в ней элементов, о ее соотношении с вегетативной побеговой массой растения по ходу его формирования во времени. Необходима также информация о виде взаимосвязи надземная фитомасса – корни (линейная или нелинейная), степени устойчивости вида связи и величине коэффициентов, количественно связывающих эти две основные части растения. Этот вопрос изучен весьма слабо в виду его сложности и большой трудоемкости определения корневой массы, особенно в полевых условиях [13].

Объективно, наиболее достоверные данные могут быть получены в вегетационных опытах, позволяющих более точно учитывать массу корневой системы по ходу роста растений в условиях водной культуры, а

также при выращивании в почве в сосудах или почвенных ящиках (ящик Ротмистрова). Так при выращивании большинства видов диплоидных, тетраплоидных и гексаплоидных пшениц на смеси Кнопа в течении 20 суток О.И. Гамзикова и др. [1] установила пропорциональную (линейную) связь между массой побега и корневой системой. Аналогичные результаты были получены сотрудником лаборатории Генетики минерального питания растений ГНУ Донской НИИСХ В. Кушнарченко в 1989 г. для эгилопса. Нашими исследованиями, проведенными в этой же лаборатории института, при выращивании пшениц и эгилопсов на почвенно-песчаном субстрате в сосудах и на почвенно-песчаной делянке (глубина слоя – 50 см, соотношение почва-песок 1:5) установлена также тесная пропорциональная положительная зависимость массы корней от величины вегетативной массы побеговой части растений [5].

Саратовскими исследователями [14] выявлено, что при выращивании пшениц в водной культуре во все фазы роста масса корневой системы составляла 17,4 – 19,3% от надземной массы, а при выращивании на почве в ящиках Ротмистрова этот показатель находился в интервале 32,4 – 35,3%. Такая незначительная разница показателя по ходу роста растений возможна только при наличии у растения сохраняющейся пропорциональной связи между массой корней и фитомассой питающих их побегов. Результаты наших вегетационных опытов [4] показали, что отношение массы корней к надземной фитомассе в предположение равнялось у эгилопсов *A. longissima* – 0,31, *A. tauschii* – 0,36, *A. speltoides* – 0,33, у пшениц *T. urartu* – 0,37, *T. durum* – 0,34, *T. aestivum* – 0,30. Эти показатели весьма близки по своим численным значениям данным саратовских исследователей при выращивании растений пшениц на почвенном субстрате в ящиках Ротмистрова. В.А. Олифер [11]. при выращивании с.-х. культур в полевых условиях на западно-сибирских черноземах констатирует: «Корневые системы пшеницы, гороха и

кукурузы образуют около трети всей фитомассы». Можно полагать, что величину отношения массы корней к надземной вегетативной массе можно принять в первом приближении, равной 0,33.

Следствием пропорциональной зависимости корневой системы (как акцептора) от вегетативных органов побеговой части растения (как донора ассимилятов) является пропорциональная зависимость массы корней от величины урожая различных сельхозкультур, которая показана в исследованиях Ф.И. Левина [9], А.А. Новикова [10], А.В. Лабынцева [7, 8].

Ранее проведенными исследованиями [3, 4, 5] показано, что масса зерна колоса ( $Y$ ) находится в устойчивой пропорциональной зависимости от величины надземной вегетативной массы побега ( $X$ ):  $Y=KX$ , где  $K$  – коэффициент пропорциональности, выражающий меру соотношения, в котором единица вегетативной массы побега участвует в порождении зерна. Упорядоченность нарастания надземной вегетативной фитомассы растений во времени, пропорциональная зависимость величины массы корневой системы от фитомассы надземной, а также упорядоченность связи массы зерна с вегетативной массой открывают возможность при планировании урожая использовать их для прогнозных расчетов выноса элементов для оптимизации режима минерального питания пшеницы.

Математическая модель динамики общего (надземной фитомассой и корнями) выноса (извлечения)  $N P K$  из корнеобитаемого слоя почвы с единицы площади агроценоза, начиная с морфофазы 1—1 и по колошение-цветение включительно, может быть выражена уравнением:  $Y_t = X_t c_1 100^{-1} + (KX_t) c_2 100^{-1}$ , где

$Y_t$  – величина вынос а(извлечения) элемента на момент определения (t)

$t$  – возраст растения, отражаемого численным значением порядкового номера морфофазы его главного побега, во время определения

$X_t$  – средний вес надземной (побеговой) фитомассы растений на единице площади во время определения в абсолютном выражении (г, кг)

$c_1$  – концентрация элемента (%) в тканях надземной (побеговой) части растений данного возраста в момент определения

$c_2$  – средняя концентрация элемента (%) в тканях корней

$K$  – коэффициент, численное значение которого связывает величину фитомассы корней с величиной надземной фитомассы как долю корней по отношению к надземной фитомассе ( $X_t$ ) во время определения.

$100^{-1}$  – множитель перевода вегетативной массы (надземной или корневой) в массу элемента согласно пропорции.

Алгоритм расчета выноса N P K может быть выражен последовательностью следующих необходимых действий.

1. Задается конечная средняя величина вегетативной фитомассы растений на единице площади. Далее рассчитываются величины надземной фитомассы в относительном выражении ( $Y_t, \%$ ) во времени ( $X_t$ , по морфофазам) по ходу роста и формирования главного побега растения по формуле:  $Y_{t,\%} = 0.0223X_t^3 - 0.3004X_t^2 + 2.1817X_t - 4.2972$ , где  $X$  – порядковый номер морфофазы главного побега растения (отражает биологический возраст) во время определения (t) массы растений.

2. Полученные по ходу роста (по морфофазам) численные значения величин надземной фитомассы в относительном выражении ( $Y_t, \%$ ) переводятся в весовые единицы ( $Y_t$ , г или кг) в соответствии с их процентом ( $Y_t, \%$ ) от величины конечной фитомассы в колошение-цветение.

3. Определяется содержание N P K в весовых единицах в соответствии с их процентом в побеговой фитомассе растений.

4. При каждом определении численного значения величины надземной фитомассы в весовых единицах общую вегетативную

фитомассу растений получают, прибавляя треть (0.33) от надземной фитомассы, приходящуюся на корневую систему.

5. В первом приближении процентное содержание N P K в тканях корней принимается таким же, как и в надземной фитомассе.

Получив перечисленные выше показатели динамику выноса (извлечения) растениями N P K из корнеобитаемого слоя почвы с единицы площади агроценоза определяют по уравнению:  $Y_t = X_t \cdot c_1 \cdot 100^{-1} + (KX_t) \cdot c_2 \cdot 100^{-1}$ .

Таким образом, ход нарастания фитомассы растения (Y) во времени (X), при выражении ее в относительной форме по отношению к ее максимальной величине в колошение-начало цветения, имеет вид:  $Y_{t,\%} = 0.0223X_t^3 - 0.3004X_t^2 + 2.1817X_t - 4.2972$ , где X – порядковый номер морфофазы главного побега растения (отражает биологический возраст) во время определения (t) массы побега или пробы растений. Вид зависимости имеет статус закономерности.

Упорядоченный характер нарастания фитомассы растения во времени может быть положен в основу математической модели для определения динамики выноса N,P,K из корнеобитаемого слоя почвы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гамзикова, О.И. Реакция пшеницы на уровень азотного питания в эволюционном аспекте/ О. И. Гамзикова, Р.А. Удачин, И.Ш. Шахмедов, С.А. Мокридова // Сельскохозяйственная биология. 1986. №3. С. 53 – 56.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. 1985. 351 с.
3. Козлечков, Г.А. Генеративное усилие у пшениц и эгилопсов / Г.А. Козлечков, О.Н. Жамсаранова // Ботанический журнал. 1993. Т.78. №4. С. 59-66.
4. Козлечков, Г.А. Индикационная фенология пшеницы на базе закономерностей морфогенеза побега и растения / Г.А. Козлечков // Новочеркасск. 2006. 136 с.
5. Козлечков, Г.А. Новые закономерности формирования элементов продуктивности растений пшеницы в процессе морфогенеза / Г.А. Козлечков // Новочеркасск. 2010. 303 с.
6. Курсанов, А.Л. Транспорт ассимилятов в растении/ А.Л. Курсанов // М.: Наука, 1976. 647 с.
7. Лабынцев, А.В. Систематическое внесение удобрений в севооборотах на обыкновенном черноземе и их эффективность в звеньях с горохом и люцерной /А.В.

Лабынцев // Автореферат дис. на соискание уч. степени к. с.-х наук. Краснодар. 1992. 26 с.

8. Лабынцев, А.В. Сохранение плодородия чернозема обыкновенного Северного Кавказа и повышение продуктивности пашни/ А.В. Лабынцев // Автореферат дис. на соискание уч. степени д. с.-х. наук. Рассвет. 2002. 44 с.

9. Левин, Ф.И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции / Ф.И. Левин // Агрехимия. 1978. №8. С. 36-42.

10. Новиков, А.А. Гумус и азот в обыкновенных мицеллярно-карбонатных черноземах и баланс питательных веществ / А.А. Новиков // Автореферат дис. на соискание уч. степени к. с.-х. наук. Краснодар. 1985. 45с.

11. Олифер, В.А. Биологический круговорот на западно-сибирских черноземах. Сборник. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / В.А. Олифер // Ленинград: Наука. 1971. с. 278- 281.

12. Серебрякова, Т.И. Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков / Т.И. Серебрякова// М.: Наука. 1971. 360 с.

13. Сытник, К.М. Физиология корня / К.М. Сытник, Н.М. Книга, Л.И. Мусатенко // Киев: Наукова думка. 1972. 355с.

14. Чернов, В.К. Соотношение корней и надземной массы у яровой пшеницы / В.К. Чернов, В.В. Горбунов // МСХ РСФСР. Ордена трудового красного знамени НИИСХ Юго-Востока. Сборник научно-технической информации №6. Саратов. 1972. С. 14- 15.