

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 631.416:[631.82+631.86](476)

Поступила в редакцию 22.04.2016
Received 22.04.2016**В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко***Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

**БАЛАНС АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ
НА ПОЧВАХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ**

Оптимальная система применения минеральных и органических удобрений является основным фактором получения высокого урожая сельскохозяйственных культур с заданными параметрами качества. В статье приведены результаты анализа данных, полученных в динамике за последние 6 туров крупномасштабного агрохимического обследования почв Республики Беларусь за период 1986–2015 гг.: по внесению минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры на пахотных почвах; определен баланс (интенсивность баланса) поступления и выноса питательных элементов на пахотных почвах; приведена продуктивность сельскохозяйственных культур на пахотных почвах. Также проанализирована динамика агрохимических показателей пахотного слоя почв (содержание гумуса, P_2O_5 , K_2O , pH_{KCl}) за 2009–2015 гг. Установлено, что в среднем в 2006–2015 гг. в Беларуси минеральные удобрения применялись на одном уровне, хотя с 2012 г. прослеживается тенденция к снижению этого показателя, в особенности за счет фосфорных удобрений. Определен оптимальный уровень применения минеральных удобрений на пахотных почвах Республики Беларусь в количестве не менее 260–280 кг/га NPK для получения продуктивности растениеводческой сельскохозяйственной продукции на уровне 50 ц к.ед./га. Проведенный анализ применения в областях и в целом по республике минеральных (азотных, калийных и фосфорных удобрений) и органических удобрений, определение баланса питательных веществ в почве имеет большое значение для дальнейшего прогнозирования урожаев и поддержания почвенного плодородия, внесения необходимых доз минеральных и органических удобрений с учетом заданной продуктивности сельскохозяйственных культур на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: баланс азота, фосфора и калия, органические и минеральные удобрения, продукционная способность почв

V. V. Lapa, N. N. Ivakhnenko*The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, the Republic of Belarus*

**BALANCES OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM AND FERTILIZER APPLICATION
IN ARABLE SOILS IN BELARUS**

Perfect system of application of mineral and organic fertilizers is the main factor for obtaining high level agricultural crop yield with the required quality parameters. The article presents the results of data analysis obtained in dynamics over the last 6 rounds of large-scale agrochemical soil survey in the Republic of Belarus for the period of 1986–2015: for introduction of mineral and organic fertilizers for agricultural crops on arable soils; balance (balance intensity) of supply and removal of nutrients on arable soils is determined; performance of agricultural crops on arable soils is presented. Dynamics of agrochemical indicators of soils arable layer (content of humus, P_2O_5 , K_2O , pH_{KCl}) for 2009–2015 is also analyzed. It is determined that on average in 2006–2015 in Belarus mineral fertilizers have been used at the same level, although since 2012 there is a tendency to decrease of this index, mostly due to phosphorus fertilizers. Perfect level of mineral fertilizers application on arable soils of the Republic of Belarus is determined in the amount of minimum 260–280 kg/ha of NPK to obtain agricultural crop products at the level of 50 c f.u./ha. The conducted analysis of application of mineral (nitrogen, potassium and phosphoric fertilizers) and organic fertilizers in regions and in entire republic, determination of nutrients balance in soil is of great im-

portance for further prediction of yields and maintenance of soil fertility, implementation of required doses of mineral and organic fertilizers taking into account the required performance of agricultural crops for the near future.

Keywords: balance of nitrogen, phosphorus and potassium, organic and mineral fertilizers, productive capacity of soils

Введение. Баланс основных элементов питания определяется для обоснования наиболее эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия. Показатели баланса отражают пути превращения и расхода питательных веществ минеральных и органических удобрений, долю элементов питания, продуктивно используемую и отчуждаемую растениями из почвы и восполняемую за счет минеральных и органических удобрений. Баланс питательных веществ в системе «почва – растение – удобрение» составляет часть общего процесса взаимодействия элементов и относится к малому биологическому круговороту. Состояние баланса элементов питания оценивается по разности между суммарным количеством, поступившим в почву и отчуждаемым из нее. Величина потребления и потерь элементов питания зависит от гранулометрического состава и степени окультуренности почвы, вида, доз и сроков внесения удобрений, погодных условий, агротехнических приемов и других условий [1–10].

В связи с сокращением объемов применения средств химизации были пересмотрены стратегия и концептуальные положения по использованию удобрений. Если раньше применение удобрений планировалось на основе концепции расширенного воспроизводства плодородия почв, то в настоящее время основной задачей является сохранение достигнутого уровня агрохимических показателей и их повышение только на землях с низкими запасами элементов питания [11–15]. В какой-то мере такая система способствует и выравниванию агрохимической пестроты между полями. Рациональное использование удобрений сегодня является одним из важных факторов оздоровления и стабилизации экономического состояния хозяйств. Несмотря на высокую стоимость минеральных удобрений, их применение высоко рентабельно.

Научное обоснование баланса элементов питания имеет большое значение в условиях интенсивного земледелия и позволяет контролировать приходные и расходные статьи, прогнозировать и планировать изменение агрохимических показателей плодородия почв. В условиях дефицита минеральных удобрений особую актуальность приобретают вопросы повышения их окупаемости прибавкой урожая, а также оценка эффективности в условиях производства в количественном и стоимостном выражении. Нарушение баланса питательных веществ в земледелии ведет к ухудшению химического состава почвы, природных вод, а следовательно, и растений, это, в свою очередь, отрицательно влияет на качество и питательную ценность сельскохозяйственной продукции.

Потенциал продуктивности растениеводческой отрасли в значительной степени определяется характером почвенного покрова, состоянием плодородия почв и уровнем применения минеральных и органических удобрений. Именно эти факторы имеют решающее значение в уменьшении зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от неблагоприятных погодных условий.

Цель исследований – анализ поступления минеральных и органических удобрений по областям Беларуси, динамики баланса азота, фосфора и калия и продуктивности сельскохозяйственных культур, изменения агрохимических показателей пахотного слоя за последние 10 лет.

Объекты и методы исследований. При расчете среднегодовых балансов элементов питания по областям и стране использовали ежегодные данные Национального статистического комитета Республики Беларусь:

- 1) внесение минеральных удобрений (в пересчете на 100 % питательных веществ) в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь;
- 2) внесение органических удобрений в сельскохозяйственных организациях по областям;
- 3) валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям;
- 4) посевные площади сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям.

Баланс элементов питания в земледелии Республики Беларусь рассчитывали по методике расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь. При пересчете валовых сборов (тыс. т) в кормовые единицы применяли коэффициенты [15–17].

Результаты и их обсуждение. Анализ данных показал, что до 1992 г. в сельском хозяйстве республики ежегодно применялось 14,4 т/га органических и 259 кг/га д.в. минеральных удобрений. Такие объемы внесения удобрений позволили практически удвоить плодородие почв и повысить продуктивность пашни до 42,8 ц к.ед/га. С 1992 и до 2000 г. в силу ряда причин объемы применения как минеральных, так и органических удобрений ежегодно сокращались, в результате этого снизился валовой сбор растениеводческой продукции. При недостаточных объемах внесения минеральных удобрений отмечен и косвенный ущерб в смежных отраслях сельскохозяйственного производства, в частности в животноводстве, связанный с недостаточным производством кормов и, как следствие, снижением продуктивности скота.

Применение минеральных удобрений за период 2006–2010 гг. на почвах пахотных земель республики превысило самый эффективный период 1986–1990 гг. и в среднем составило 261 кг/га, что более чем на 100 кг/га (67 %) выше, чем в 2001–2005 гг. (156 кг/га). Объемы применения минеральных удобрений по областям увеличились на 77–114 кг/га (39–90 %). В четырех областях (Брестской, Гомельской, Гродненской и Минской) в 2006–2010 гг. применяли удобрения практически на одном уровне – 270–276 кг/га. В 2006–2010 гг. Внесение удобрений в Витебской области увеличилось на 90 % по сравнению с 2001–2005 гг. и достигло 222 кг/га, однако этот объем был минимальным по сравнению с другими областями.

В период 2011–2015 гг. минеральные удобрения применяли практически на уровне 2006–2010 гг., с максимальным внесением NPK в 2011 г. (289–350 кг/га), при этом в Гомельской области было внесено 350 кг/га, что на 80 кг/га (30 %) больше, чем за период 2006–2010 гг. Однако в последующие годы (2012–2015) наблюдалось устойчивое снижение применения минеральных удобрений с минимальным внесением (147–250 кг д.в/га) в 2015 г. В среднем по стране за 5 лет (2011–2015 гг.) внесение NPK снизилось на 104 кг д.в/га (50 %): от 60 кг д.в/га (24 %) в Гродненской области до 146 кг д.в/га (99,3 %) в Витебской области.

В среднем по республике за 2011–2015 гг. внесение азотных удобрений сохранилось на уровне 2006–2010 гг. с максимальным внесением в 2011 г. В 2012–2015 гг. прослеживается постепенное снижение внесения азотных удобрений при минимальных дозах в 2015 г. Максимальное снижение применения азотных удобрений произошло в Витебской области (на 43 кг/га) и в Могилевской (на 42 кг/га), и минимальное – в Брестской (на 5 кг/га) и в Гродненской (15 кг/га) областях.

За период 2006–2010 гг. внесение фосфорных удобрений в стране почти во всех областях удвоилось – от 20 до 44 кг/га (в 2,2 раза) с максимальным количеством 49 кг д.в/га в Гомельской и Минской областях и минимальным – в Витебской (34 кг/га). Однако в процентном отношении именно в этой области внесение фосфорных удобрений увеличилось больше всего – в 2,6 раза.

В среднем по стране за период 2011–2015 гг. произошло снижение применения фосфорных удобрений – на 2–11 кг д.в/га. Однако в 2011 г. внесено максимальное за последние 25 лет количество фосфорных удобрений (48–74 кг д.в/га), т. е. практически на уровне 1986–1990 гг. В 2012–2015 гг. наблюдалось снижение применения фосфорных удобрений с минимальным внесением 15–36 кг д.в/га в 2015 г. Минимальное количество фосфорных удобрений 15 кг д.в/га внесено в 2015 г. в Могилевской области и 21 кг д.в/га в Витебской, что на 35 кг д.в/га (в 3,3 раза) и на 45 кг д.в/га (в 3,1 раза) соответственно меньше, чем в 2011 г. В остальных областях произошло снижение применения фосфорных удобрений в 1,7–2,4 раза.

Внесение калийных удобрений в периоды 2006–2010 и 2011–2015 гг. в Беларуси увеличилось на 40–100 % при сравнении с 2001–2005 гг. и достигло уровня 104–142 кг д.в/га. В среднем за 2011–2015 гг. в Витебской области внесено минимальное количество калийных удобрений (104 кг/га), однако по сравнению с 2001–2005 гг. (53 кг/га) их объем удвоился. Максимальное количество калийных удобрений внесено в Гомельской (142 кг д.в/га) и в Брестской (140 кг д.в/га) областях.

За период 2011–2015 гг. максимальное количество азотных (100–119 кг/га), фосфорных (48–74 кг/га) и калийных удобрений (124–172 кг/га) было внесено в 2011 г. в Гомельской, Гродненской и Минской областях. Следует отметить, что в 2014 и 2015 гг. объемы применения минеральных удобрений (NPK) по сравнению с 2011 г. и периодом 2006–2010 гг. значительно сократились (табл. 1, 2).

Одной из проблем эффективного применения удобрений является их сбалансированность. Так, количество внесенных в 2011–2015 гг. в среднем по стране фосфорных удобрений в 2,2–

Т а б л и ц а 1. Внесение минеральных и органических удобрений под все сельскохозяйственные культуры на почвах пахотных земель Беларуси

Table 1. Mineral and organic fertilizers dressing for all the agricultural crops on arable lands of Belarus

Область	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015
<i>НПК, кг д.в./га</i>											
Брестская	250	184	158	166	276	306	297	301	266	230	280
Витебская	240	157	119	117	222	293	241	250	185	147	223
Гомельская	286	189	171	162	270	350	319	321	280	237	301
Гродненская	270	211	170	197	274	310	293	292	272	250	283
Минская	265	178	142	156	270	327	286	243	232	223	262
Могилевская	252	155	144	140	252	289	269	257	192	169	235
Всего по РБ	259	177	149	156	261	313	283	274	236	209	263
<i>Азотные удобрения, кг д.в./га</i>											
Брестская	78	54	51	63	98	100	109	102	99	95	101
Витебская	88	57	45	53	82	103	88	93	64	60	82
Гомельская	90	55	49	53	90	118	114	119	100	99	110
Гродненская	100	81	64	88	106	115	109	110	108	100	108
Минская	86	54	46	60	100	119	106	90	85	84	97
Могилевская	86	56	51	56	91	105	107	100	71	63	89
Всего по РБ	88	59	51	62	95	111	105	101	87	83	97
<i>Фосфорные удобрения, кг д.в./га</i>											
Брестская	60	35	23	19	44	48	39	47	35	26	39
Витебская	57	31	17	13	34	66	38	41	20	21	37
Гомельская	76	46	31	26	49	60	56	55	40	36	49
Гродненская	61	37	21	23	42	57	46	45	39	33	44
Минская	67	38	20	20	49	74	51	38	31	31	45
Могилевская	68	34	22	20	47	50	46	39	28	15	36
Всего по РБ	65	37	22	20	44	60	46	44	32	27	42
<i>Калийные удобрения, кг д.в./га</i>											
Брестская	112	94	84	88	136	158	149	152	132	109	140
Витебская	95	69	58	53	106	124	115	115	101	66	104
Гомельская	120	89	91	86	132	172	150	147	140	102	142
Гродненская	109	93	85	90	126	138	138	136	125	117	131
Минская	112	86	76	79	121	134	129	115	116	109	121
Могилевская	98	66	70	68	114	134	117	118	94	91	111
Всего по РБ	106	82	76	77	122	142	132	129	117	99	124
<i>Органические удобрения, т/га</i>											
Брестская	17,1	16,0	12,1	7,9	10,7	14,3	14,5	15,0	16,0	16,0	15,2
Витебская	12,9	9,0	5,0	3,3	4,5	7,1	6,3	5,2	6,1	5,3	6,0
Гомельская	15,5	12,2	7,6	6,0	7,4	9,7	8,8	8,3	11,2	9,4	9,5
Гродненская	14,0	12,8	11,2	11,0	10,2	12,2	12,2	11,6	12,0	12,1	12,0
Минская	15,9	12,8	8,2	6,3	8,7	10,3	10,2	9,3	10,7	10,4	10,2
Могилевская	11,5	8,6	5,5	3,7	5,4	9,0	8,5	8,8	9,6	9,6	9,1
Всего по РБ	14,4	11,6	8,1	6,3	8,0	10,3	9,9	9,5	10,7	10,3	10,1

3,6 раза меньше, чем азотных и калийных. По областям на долю азотных удобрений приходилось от 36 до 38 %, фосфорных – 14–17 %, калийных – 46–50 %. При этом в некоторых районах происходит нарушение соотношения элементов питания, при котором недостаток одного из элементов, чаще всего фосфора, компенсируется внесением другого, в основном азота или калия.

В соответствии с Программой мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 годы, для обеспечения бездефицитного баланса гуму-

Т а б л и ц а 2. **Баланс элементов питания в почвах пахотных земель по областям Республики Беларусь, кг/га**T a b l e 2. **Nutrients balance in soils of arable lands in regions of the Republic of Belarus, kg/ha**

Область	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015
<i>Баланс азота</i>											
Брестская	12,3	9,9	13,3	12,7	28,0	42,4	38,9	44,6	30,7	46,2	40,6
Витебская	39,9	16,4	13,4	16,5	26,4	43,8	33,0	40,0	12,6	8,2	27,5
Гомельская	23,4	12,5	16,8	18,4	28,7	55,4	41,7	59,3	43,5	57,8	51,5
Гродненская	18,6	19,2	14,3	18,8	10,6	22,5	8,7	16,5	–6,2	7,0	9,7
Минская	19,1	10,2	11,6	14,0	23,6	35,9	23,2	15,3	8,7	18,7	20,3
Могилевская	25,2	12,7	16,3	14,3	17,2	30,4	33,1	34,0	6,4	27,8	26,3
Беларусь	23,8	13,5	14,2	15,8	22,5	37,9	29,5	33,5	18,9	26,8	29,3
<i>Баланс фосфора</i>											
Брестская	53,9	32,9	17,0	5,5	30,4	40,5	27,7	40,3	24,4	22,5	31,1
Витебская	55,0	23,6	8,2	–1,9	16,5	49,5	22,4	25,7	2,5	2,3	20,5
Гомельская	70,1	41,5	24,9	16,2	35,4	48,5	40,1	43,9	30,5	30,9	38,8
Гродненская	47,9	26,4	11,7	7,0	18,4	35,0	20,3	21,8	7,6	9,3	18,8
Минская	59,5	32,0	13,1	5,4	30,4	53,8	29,6	17,4	10,5	14,6	25,2
Могилевская	59,8	25,5	13,2	4,6	24,9	30,3	26,1	21,8	8,9	6,6	18,8
Беларусь	58,1	30,2	14,6	6,1	26,2	43,5	27,7	28,1	15,2	14,2	25,7
<i>Баланс калия</i>											
Брестская	60,5	55,2	49,5	33,9	79,4	112,7	92,9	108,0	75,5	72,1	99,3
Витебская	62,9	29,2	22,2	3,4	49,4	65,7	60,5	63,0	41,7	4,6	58,8
Гомельская	70,7	49,5	57,7	43,7	78,4	121,6	88,9	99,8	92,7	69,7	99,3
Гродненская	43,5	36,9	38,3	23,3	41,4	55,6	45,5	51,3	17,0	30,1	47,7
Минская	59,4	42,4	39,4	26,3	54,8	60,4	52,2	41,9	40,9	45,6	49,0
Могилевская	51,2	22,9	32,8	16,1	43,8	64,0	47,3	55,0	24,7	51,2	48,2
Беларусь	56,6	38,8	38,3	22,3	56,7	77,8	63,3	67,5	51,3	44,9	65,2

са в почвах пахотных земель Беларуси потребность в органических удобрениях составляет 12,0 т/га, что в 1,5 раза выше, чем применялось в стране в 2006–2010 гг. [14]. За последние пять лет (2011–2015 гг.) можно отметить рост применения органических удобрений с максимальным среднегодовым внесением по стране 10,7 т/га в 2014 г., а по областям – на уровне 6,1–16,0 т/га. В Брестской области в 2014 и 2015 гг. внесено по 16,0 т/га органических удобрений, что в 2,6 и 3 раза превышает этот показатель в Витебской области, где он минимальный – 6,1 и 5,3 т/га соответственно.

Внесение органических удобрений в почвы пахотных земель в среднем по стране после снижения в 1991–2006 гг. до 6,3 т/га увеличилось до 9,5–10,7 т/га. Максимальное количество органических удобрений внесено в Брестской (14,3–16,0 т/га) и в Гродненской (11,6–12,2 т/га) областях, минимальное – в Витебской (5,2–7,1 т/га) и – в Могилевской (8,5–9,6 т/га), при этом в большинстве административных областей (за исключением Брестской и Гродненской) внесение органических удобрений ниже нормативов (см. табл. 1).

Определение баланса азота в земледелии республики показало, что рост применения азотных удобрений, более эффективное их использование в период 1986–1990 гг. способствовало формированию положительного баланса в размере 23,8 кг/га. Сокращение объемов применения минеральных и органических удобрений в период 1991–2001 гг. привело к снижению баланса азота в 1996 г. до 3,8 кг/га, в 1991–1995 гг. – до 13,5 кг/га, в 1996–2000 гг. до 14,2 кг/га. Баланс по азоту в среднем по стране в период 2006–2010 гг. составил 22,8 кг/га и изменялся в пределах 11,3–34,0 кг/га. Несмотря на самое высокое применение азотных удобрений в Гродненской области, именно здесь баланс по азоту самый низкий – 10,3 кг/га, а в 2007 и 2008 гг. даже отрицатель-

ный за счет самой высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и большого выноса азота сельскохозяйственными культурами (табл. 2).

Период химизации земледелия республики (1986–1990 гг.) характеризовался положительным балансом фосфора и калия в почвах пахотных земель. Максимальный баланс в 1986–1990 гг. фосфора составил 58,1 кг/га, калия – 56,6 кг/га, а его интенсивность – 269 и 154 % соответственно, что было близко к оптимальным значениям, которые для производственных условий республики составляли для фосфора 230–250, калия – 130–140 % [3, 4].

Положительный баланс по фосфору до 1986–1990 гг. возрастал за счет применения как минеральных, так и органических удобрений. Поступление фосфора с органическими удобрениями возросло до 25,9 кг/га, с минеральными – до 65 кг/га. Следует отметить, что баланс фосфора и калия за период 2006–2010 гг. увеличился в 4 и 2,5 раза соответственно по сравнению с 2001–2005 гг.

За последние пять лет (2011–2015 гг.) в среднем по стране наблюдается рост баланса азота и калия – на 6,8 и 8,5 кг/га по сравнению 2006–2010 гг. Баланс по фосфору снизился на 0,5 кг/га за счет снижения его на 5,2 кг/га в Минской области и на 6,1 кг/га в Могилевской. Больше всего положительный баланс по азоту и калию увеличился в Гомельской области – на 22,8 и 20,9 кг/га соответственно. В Гродненской и Минской областях положительный баланс по азоту снизился на 0,9 и 3,3 кг/га. Баланс по калию по областям увеличился на 4,5 кг/га (Могилевская обл.) до 20,9 кг/га (Гомельская обл.) (см. табл. 2).

Интенсивность баланса – отношение поступления элементов питания к выносу их урожаем, выражается в виде процентов или коэффициентов. Величина интенсивности менее 100 % характеризует дефицитный, на уровне 100 % – бездефицитный нулевой или поддерживающий баланс, а более 100 % – положительный.

В 2006–2015 гг. интенсивность баланса азота, фосфора и калия больше 100 %, что свидетельствует о положительном балансе элементов питания. Надо отметить, что за эти годы практически во всех областях она увеличивалась по годам и в среднем за период. Интенсивность баланса азота в 2011–2015 гг. изменялась в пределах 106–142 %, фосфора – 139–232 % и калия – 132–194 % (табл. 3).

Продукционная способность сельскохозяйственных земель или их плодородие является основным фактором, обуславливающим ведение сельского хозяйства на современном уровне. Под современным уровнем ведения сельского хозяйства понимается использование агротехнологий, обеспечивающих получение растениеводческой продукции высокого качества, с низкой себестоимостью и максимально возможным уровнем рентабельности при условии сохранения или повышения плодородия почв.

Под научно-методическим руководством Института почвоведения и агрохимии с 1970 г. в республике проводится постоянный мониторинг за состоянием плодородия почв. Если в период 1992–1997 гг. в результате снижения объемов внесения минеральных и органических удобрений произошел определенный спад по содержанию в почвах фосфора и калия, то в период 2006–2015 гг. отмечена устойчивая положительная тенденция как в объемах применения удобрений, так и изменении агрохимических показателей плодородия почв [16, 17].

В настоящее время, по данным лаборатории мониторинга плодородия почв и экологии (13-й тур) и крупномасштабного агрохимического обследования почв, средневзвешенный показатель кислотности (pH_{KCl}) пахотного слоя пахотных земель составляет 5,89, средневзвешенное содержание гумуса – 2,24 %, подвижного калия – 219 мг/кг, фосфора – 192 мг/кг. По отношению к предыдущему 12-му туру содержание гумуса увеличилось на 0,01 %, калия – на 19 мг/кг и фосфора – на 5 мг/кг почвы. Оптимальный уровень обеспеченности калием пахотного слоя почв достигнут на 56 % пахотных земель [17]. Содержание калия в почвах пахотных земель во всех областях повысилось на 8–30 мг/кг почвы. Содержание фосфора в Минской и Могилевской области снизилось на 16 и 10 мг/кг почвы, а в остальных областях повысилось на 6–22 мг/кг почвы (табл. 4).

Оптимальные значения показателя кислотности для почв пахотных земель дифференцируются в зависимости от гранулометрического состава и составляют в целом по республике pH_{KCl} 5,8–6,0. В почвах районов, загрязненных стронцием-90, где кальций является наиболее существенным антагонистом стронция-90, кислотность почв доведена до оптимальных значений.

Т а б л и ц а 3. **Интенсивность баланса элементов питания в почвах пахотных земель Беларуси, %**T a b l e 3. **Intensity of nutrients balance in soils of arable lands in Belarus, %**

Область	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015
<i>Интенсивность баланса азота</i>											
Брестская	159	103	113	112	121	130	125	131	120	133	128
Витебская	193	111	118	118	126	136	130	138	110	108	125
Гомельская	160	106	120	120	126	143	131	149	132	155	142
Гродненская	176	110	112	110	107	113	105	110	96	104	106
Минская	159	104	113	113	118	123	115	111	106	114	114
Могилевская	177	107	121	114	114	122	124	126	108	127	120
Беларусь	170	107	116	114	118	127	121	125	113	121	121
<i>Интенсивность баланса фосфора</i>											
Брестская	161	201	162	124	187	215	171	214	159	166	184
Витебская	208	194	142	102	160	259	178	197	108	108	170
Гомельская	216	248	218	161	222	258	220	258	197	230	232
Гродненская	175	176	138	118	142	176	141	148	114	120	139
Минская	167	204	155	124	185	233	171	145	125	139	163
Могилевская	213	200	164	125	175	180	171	162	123	124	154
Беларусь	184	204	162	127	176	218	173	181	140	143	171
<i>Интенсивность баланса калия</i>											
Брестская	202	156	159	140	176	207	179	201	162	170	183
Витебская	194	137	136	106	159	170	169	177	145	105	156
Гомельская	201	156	184	163	187	228	186	214	195	192	194
Гродненская	195	136	140	122	132	141	131	138	111	121	132
Минская	193	145	153	133	151	150	142	136	133	141	138
Могилевская	188	129	150	124	144	157	143	153	122	161	140
Беларусь	197	143	152	131	154	170	155	164	145	144	154

Т а б л и ц а 4. **Динамика изменения показателей пахотного слоя почв Республики Беларусь за 12-й и 13-й туры агрохимического обследования почв**T a b l e 4. **Dynamics of land arable layer indices in the Republic of Belarus for the 12th and 13th tours of soils agrochemical survey**

Область	Балл пашни	Гумус, %			P ₂ O ₅			K ₂ O			pH _{ксл}		
		2012–2015 гг.	2008–2011 гг.	+	мг/кг почвы			2012–2015 гг.	2008–2011 гг.	+	2012–2015 гг.	2008–2011 гг.	+
					2012–2015 гг.	2008–2011 гг.	+						
Брестская	31,9	2,48	2,45	0,03	178	158	20	197	178	19	5,75	5,81	–0,06
Витебская	26,6	2,46	2,48	–0,02	187	172	15	211	181	30	6,02	6,10	–0,08
Гомельская	30,1	2,33	2,30	0,03	229	223	6	222	210	12	5,81	5,92	–0,11
Гродненская	34,4	1,89	1,87	0,02	211	189	22	195	187	8	5,81	5,86	–0,05
Минская	32,8	2,34	2,35	–0,01	162	178	–16	251	227	24	5,79	5,78	0,01
Могилевская	32,3	1,96	1,93	0,03	199	209	–10	222	208	14	5,87	5,95	–0,08
Беларусь	31,2	2,24	2,23	0,01	192	187	5	219	200	19	5,84	5,89	–0,05

Можно считать, что в настоящее время достигнута нижняя граница оптимального показателя и задача состоит в том, чтобы поддерживать его на достигнутом уровне.

Высокая продукционная способность пахотных земель, основанная на положительном балансе основных элементов питания, обеспечивает получение стабильной продуктивности сельскохозяйственных культур на уровне 35,5–60,6 ц к.ед/га. Применение минеральных удобрений на уровне 250–300 кг д.в. на гектар пахотных земель, на фоне интегрированной защиты расте-

ний, является одним из необходимых условий производства конкурентоспособной продукции на внешнем рынке.

Степень окультуренности почв и количество применяемых удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур является решающим фактором формирования урожайности при неблагоприятных погодных условиях.

В 2006–2010 и 2011–2015 гг. в среднем по стране продуктивность составила 42,6 и 44,9 ц к.ед/га, что практически на уровне 1986–1990 гг. (42,8 ц к.ед/га), когда было внесено максимальное количество как минеральных (259 кг/га), так и органических (14,4 т/га) удобрений. Самая высокая продуктивность сельскохозяйственных культур 60,6 ц к.ед/га за период 2011–2015 гг. получена в Гродненской области и самая низкая (35,5 ц к.ед/га) – в Гомельской. В Гомельской области из-за погодных условий продуктивность культур на пахотных землях оказалась на 7,4 ц к.ед/га (20 %) ниже, чем в Витебской области, несмотря на более высокие объемы применения минеральных (237 кг д.в./га) и органических (9,4 т/га) удобрений, что на 90 кг д.в./га и 4,1 т/га соответственно больше, чем в Витебской области. В Гродненской области в 2007–2015 гг. продуктивность культур формировалась на уровне 50–60 ц к.ед/га (выше планового задания). В Минской области в 2008, 2011, 2012 и 2014 гг. продуктивность сельскохозяйственных культур была также выше 50 ц к.ед/га (50,3–51,6 ц к.ед/га), в остальные годы она изменялась в пределах 40,3–49,5 ц к.ед/га. В среднем за последний период продуктивность сельскохозяйственных культур практически во всех областях увеличилась на 1,7–4,6 ц к.ед/га, а в среднем по Беларуси – на 2,3 ц к.ед/га (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Продуктивность сельскохозяйственных культур на пахотных землях Республики Беларусь, 1986–2015 гг., ц к. ед/га

Table 5. Agricultural crops performance on arable lands of the Republic of Belarus, 1986-2015, c f un/ha

Область	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015
Брестская	48,0	40,8	33,9	35,7	43,3	43,7	48,9	44,2	51,4	42,5	46,1
Витебская	33,0	31,0	23,9	27,7	34,5	38,4	35,4	32,6	37,3	37,0	36,2
Гомельская	44,1	35,0	26,3	27,8	35,5	38,3	35,8	34,7	39,2	29,6	35,5
Гродненская	49,6	43,2	38,4	46,3	56,0	57,0	61,6	57,1	68,3	58,9	60,6
Минская	46,7	37,9	29,1	33,8	45,0	50,3	51,6	48,5	51,6	45,8	49,6
Могилевская	37,6	31,5	25,2	29,5	40,9	43,7	45,7	43,1	47,2	33,8	42,7
Всего по РБ	42,8	35,9	29,1	33,4	42,6	45,7	47,2	43,3	47,1	41,3	44,9

Выводы

1. В среднем за 2006–2010 и 2011–2015 гг. в Беларуси минеральные удобрения применяли на одном уровне 261–263 кг д.в./га, хотя с 2012 г. прослеживается тенденция к снижению этого показателя, особенно по фосфорным удобрениям.

2. Для производства продукции земледелия на уровне 50 ц к.ед/га (по плановым заданиям) необходимо применять не менее 260–280 кг/га NPK при минимальном внесении фосфатов 40 кг/га.

3. Применяемый в 2006–2015 гг. в республике уровень фосфорных (42 и 44 кг/га) и калийных (122 и 124 кг/га) удобрений при положительном балансе P_2O_5 (+26 кг/га) и K_2O (+54 кг/га) позволил поддержать достигнутое ранее содержание фосфора и калия в пахотном слое при увеличении показателей на 5 и 19 мг/кг почвы соответственно.

4. Снижение внесения фосфорных удобрений в Минской и Могилевской областях на 4 и 11 кг д.в./га привело к снижению баланса по фосфору на 5,2 и 6,1 кг/га и содержания фосфора в пахотном слое – на 16 и 10 мг/кг почвы.

Список использованных источников

1. Прянишников, Д. Н. Азот в земледелии СССР / Д. Н. Прянишников // Азот в жизни растений и в земледелии СССР / Д. Н. Прянишников. – М. ; Л., 1945. – С. 134–171.
2. Петербургский, А. В. О балансе азота, фосфора и калия в земледелии СССР за 1968–1971 гг. и прогноз его на 1975 г. / А. В. Петербургский // Изв. ТСХА. – 1973. – №4. – С. 80–86.

3. Кулаковская, Т.Н. Баланс питательных веществ в земледелии БССР / Т.Н. Кулаковская, Л.П. Детковская // Химия в сел. хоз-ве. – 1970. – №4. – С. 72–77.
4. Юркин, С.Н. Баланс азота, фосфора и калия в условиях интенсификации земледелия / С.Н. Юркин. – М. : 1975. – 168 с. – (Обзорная информация / М-во сел. хоз-ва СССР, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т информ. и технико-экон. исслед. по сел. хоз-ву).
5. Будажапов, Л.В. Д.Н. Прянишников о балансе азота и кинетические параметры азотного баланса в системе «почва – удобрение – растение» в Забайкалье / Л.В. Будажапов, Г.П. Гамзиков, Т.М. Коменданова // Доклады ТСХА : сб. ст. / РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М., 2011. – Вып. 283, ч. 1. – С. 414–418.
6. Лапа, В.В. Применение удобрений и баланс азота, фосфора и калия в почвах пахотных земель Беларуси / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений : материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 5–7 июня 2007 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2007. – С. 167–170.
7. Лапа, В.В. Применение удобрений и баланс азота, фосфора и калия в почвах пахотных земель Беларуси / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – №2. – С. 7–18.
8. Судаков, В.Д. Баланс фосфора и калия в земледелии Брестской области за 35 лет. Резервные запасы фосфора и калия в пахотном горизонте – резервные запасы плодородия почв / В.Д. Судаков // Почвы и их плодородие на рубеже столетий : материалы II съезда Белорус. о-ва почвоведов, Минск, 25–29 июня 2001 г. : в 3 кн. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Кн. 2 : Актуальные проблемы плодородия почв в современных условиях. – С. 282–285.
9. Баланс и изменение содержания подвижного калия в пахотных почвах Гродненской области / И.М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия : сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – Вып. 32. – С. 3–10.
10. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.] ; под ред. В.В. Лапа. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 390 с.
11. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.] ; Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск. – 2001. – 20 с.
12. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.] ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : БНИВНФХ в АПК, 2007. – 24 с.
13. Оптимальные параметры плодородия почв / Т.Н. Кулаковская [и др.] ; под ред. Т.Н. Кулаковской. – М. : Колос, 1984. – 271 с.
14. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В.Г. Гусаков [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск. – 2010. – 106 с.
15. Лапа, В.В. Плодородие почв и использование удобрений в Республике Беларусь / В.В. Лапа // Плодородие. – 2014. – №6. – С. 19–20.
16. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010 гг.) / И.М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 275 с.
17. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2009–2012 гг.) / И.М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2015. – 276 с.

References

1. Pryanishnikov D.N. *Azot v zemledelii SSSR* [Nitrogen in the agriculture of the USSR]. *Azot v zhizni rasteniy i v zemledelii SSSR* [Nitrogen in the life of plants and agriculture of the USSR]. Moscow, Leningrad, 1945, pp. 134–171. (In Russian).
2. Peterburgskiy A.V. *O balanse azota, fosfora i kaliya v zemledelii SSSR za 1968–1971 gg. i prognoz ego na 1975 g.* [About the balance of nitrogen, phosphorus and potassium in the agriculture of the USSR for 1968–1971 and its forecast for 1975]. *Izvestiya TSKhA* [News TAA], 1973, no. 4, pp. 80–86. (In Russian).
3. Kulakovskaya T.N., Detkovskaya L.P. *Balans pitatel'nykh veshchestv v zemledelii BSSR* [Balance of nutrients in the agriculture of the BSSR]. *Khimiya v sel'skom khozyaystve* [Chemistry in agriculture], 1970, no. 4, pp. 72–77. (In Russian).
4. Yurkin S.N. *Balans azota, fosfora i kaliya v usloviyakh intensifikatsii zemledeliya* [Balance of nitrogen, phosphorus and potassium in the conditions of arable farming intensification]. Moscow, 1975. 168 p. (In Russian).
5. Budazhapov L.V., Gamzikov G.P., Komendanova T.M. *D.N. Pryanishnikov o balanse azota i kineticheskie parametry azotnogo balansa v sisteme "pochva – udobrenie – rastenie" v Zabaykal'e* [D.N. Pryanishnikov about nitrogen balance and kinetic parameters of nitrogen balance in the system "soil – fertilizer – plant" in Transbaikalia]. *Doklady TSKhA: sbornik statey* [Reports of the TAA: a collection of articles]. Moscow, 2011, no. 283, pt. 1, pp. 414–418. (In Russian).
6. Lapa V.V., Ivakhnenko N.N. *Primenenie udobreniy i balans azota, fosfora i kaliya v pochvakh pakhotnykh zemel' Belarusi* [Application of fertilizers and the balance of nitrogen, phosphorus and potassium in the soils of arable lands in Belarus]. *Priemy povysheniya plodorodiya pochv i effektivnosti udobreniy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Gorki, 5–7 iyunya 2007 g.* [Methods of increasing soil fertility and fertilizer efficiency: materials of the International Scientific and Practical Conference, Gorki, June 5–7, 2007]. Gorki, 2007, pp. 167–170. (In Russian).
7. Lapa V.V., Ivakhnenko N.N. *Primenenie udobreniy i balans azota, fosfora i kaliya v pochvakh pakhotnykh zemel' Belarusi* [Application of fertilizers and the balance of nitrogen, phosphorus and potassium in soils of arable lands of Belarus]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], 2014, no. 2, pp. 7–18. (In Russian).
8. Sudakov V.D. *Balans fosfora i kaliya v zemledelii Brestskoy oblasti za 35 let. Rezervnye zapasy fosfora i kaliya v pakhotnom horizonte – rezervnye zapasy plodorodiya pochv* [Phosphorus and potassium balance in the agriculture Brest region for 35 years. Reserves of phosphorus and potassium in the arable horizon – reserves of soil fertility]. *Pochvy i ikh plodorodie na rubezhe stoletiy: materialy II s'ezda Belorusskogo obshchestva pochvedov, Minsk, 25–29 iyunya 2001 g.* [Soils and their

fertility at the turn of the century: materials of the Second Congress of the Belarusian Soil Science Society (June 25–29, 2001, Minsk)]. Minsk, 2001, vol. 2, pp. 282–285. (In Russian).

9. Bogdevich I.M., Lapa V.V., Ochkovskaya L.V., Kalenik G.I., Konashenko Yu.I., Biryuk Yu.N. *Balans i izmenenie sodержaniya podvizhnogo kaliya v pakhotnykh pochvakh Grodnenskoj oblasti* [Balance and change in the content of mobile potassium in the arable soils of Grodno region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya: sbornik nauchnykh trudov* [Soil science and agrochemistry: a collection of scientific papers]. Minsk, 2002, no. 32, pp. 3–10. (In Russian).

10. Lapa V.V. (ed.) *Spravochnik agrokhimika* [Agricultural chemist's reference]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2007. 390 p. (In Russian).

11. Lapa V.V., Bogdevich I.M., Ivakhnenko N.N., Vasilyuk G.V., Pirogovskaya G.V., Tikavyy V.A., Bosak V.N., Mikhaylovskaya N.A., Tsybul'ka N.N. *Metodika rascheta balansa elementov pitaniya v zemledelii Respubliki Belarus'* [Methods for calculating the balance of nutrient elements in the arable farming of the Republic of Belarus]. Minsk, 2001. 20 p. (In Russian).

12. Lapa V.V., Ivakhnenko N.N., Bosak V.N., Chernysh A.F., Pirogovskaya G.V., Mikhaylovskaya N.A., Vil'dflush I.R., Lomonos M.M., Sazonenko O.P. *Metodika rascheta balansa elementov pitaniya v zemledelii Respubliki Belarus'* [Methods for calculating the balance of nutrient elements in the arable farming of the Republic of Belarus]. Minsk, Belarusian Scientific Institute of Introduction of New Forms of Management in the Agroindustrial Complex, 2007. 24 p. (In Russian).

13. Kulakovskaya T.N. (ed.) *Optimal'nye parametry plodorodiya pochv* [Optimal parameters of soil fertility]. Moscow, Kolos Publ., 1984. 271 p. (In Russian).

14. Gusakov V.G. (ed.) *Programma meropriyatiy po sokhraneniyu i povysheniyu plodorodiya pochv v Respublike Belarus' na 2011–2015 gg.* [Program of measures for the conservation and improvement of soil fertility in the Republic of Belarus for 2011–2015]. Minsk, 2010. 106 p. (In Russian).

15. Lapa V.V. *Plodorodie pochv i ispol'zovanie udobreniy v Respublike Belarus'* [Soil fertility and use of fertilizers in the Republic of Belarus]. *Plodorodie* [Fertility], 2014, no. 6, pp. 19–20. (In Russian).

16. Bogdevich I.M. (ed.) *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Respubliki Belarus' (2007–2010 gg.)* [Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2007–2010)]. Minsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry, 2012. 275 p. (In Russian).

17. Bogdevich I.M. (ed.) *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Respubliki Belarus' (2009–2012 gg.)* [Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2009–2012)]. Minsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry, 2015. 276 p. (In Russian).

Информация об авторах

Лапа Виталий Витальевич – академик, доктор с.-х. наук, профессор, директор, Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108 г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissagro@gmail.com

Ивахненко Надежда Николаевна – кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории систем удобрения и питания растений, Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108 г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissagro@gmail.com

Information about the authors

Lapa Vitaliy V. – Academician, D. Sc. (Agricultural), Professor. The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus (90 Kazinets Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: brissagro@gmail.com

Ivakhnenka Nadzeya N. – Ph. D. (Agricultural), Associate Professor. The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus (90 Kazinets Str., Minsk 220108, Republic of Belarus). E-mail: brissagro@gmail.com

Для цитирования

Лапа, В. В. Баланс азота, фосфора и калия и применение удобрений на почвах пахотных земель Беларуси / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2017. – № 2. – С. 48–57.

For citation

Lapa V.V., Ivakhnenko N.N. Balance of nitrogen, phosphorus and potassium, and fertilization of arable soils in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series], 2017, no 2, pp. 48–57.