

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПОЧВАХ

© 2019 г. С. А. Шафран<sup>1,\*</sup>, Н. А. Кирпичников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова 31а, Россия*

*\*E-mail: shafran38@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.09.18 г.

После доработки 04.10.18 г.

Принята к публикации 12.01.2019 г.

Приведены данные, полученные в длительных полевых опытах по изучению эффективности систем удобрения различной интенсивности на динамику содержания подвижных форм фосфора и калия в почве. При превышении их поступления с удобрениями над выносом урожаями отмечено увеличение содержания подвижного фосфора в почвах. Подобная закономерность для калия зафиксирована только в дерново-подзолистых почвах. При преобладании выноса элементов питания над их поступлениями в почву происходило снижение содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах. Более интенсивно этот процесс проходил в песчаных и супесчаных почвах. В длительном полевом опыте, проведенном на дерново-подзолистой суглинистой почве, установлено, что величина выноса фосфора, которая снижает удельное содержание подвижных фосфатов, в значительной степени зависит от степени обеспеченности  $P_2O_5$ . По мере увеличения содержания подвижного фосфора уменьшалась величина выноса  $P_2O_5$ , снижающая его содержание на 1 мг/кг почв. Статистическая обработка материала показала, что скорость снижения запаса подвижного фосфора находится в прямой зависимости от уровня обеспеченности  $P_2O_5$ . Корреляционное отношение при этом составило 0.97 при 0.001%-ном уровне значимости.

*Ключевые слова:* прогнозирование, содержание подвижных форм элементов, фосфор, калий, почвы.

**DOI:** 10.1134/S0002188119040112

### ВВЕДЕНИЕ

Комплексное агрохимическое окультуривание почв России показало, что за счет повышения степени обеспеченности их доступным азотом, подвижными формами фосфора и калия, а также снижения кислотности (где это требовалось) происходило увеличение урожайности озимой пшеницы на основных почвенных разновидностях в 3.5–4.0 раза. Эти данные показывают, что урожайность озимой пшеницы >30 ц/га можно получить во всех почвенно-климатических зонах страны только на высокоокультуренных почвах [1]. Первые результаты агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий Государственной агрохимической службой свидетельствовали о том, что большинство почв России недостаточно обеспечены подвижным фосфором, их значительная часть — подвижным калием (Нечерноземная зона), больше половины площади пашни характеризовалась повышенной кислотностью. Определение баланса азота, фосфора и калия, выполненное в целом в России за 1967 г. показало, что отчуждение этих питательных веществ урожа-

ем намного превышало их поступление в почву с удобрениями. Дефицит азота составил 43, фосфора — 29 и калия — 63%. В это же время в Англии, Голландии, Швейцарии и других странах Западной Европы с минеральными и органическими удобрениями вносили больше элементов питания, чем отчуждалось с товарной продукцией [2].

В последующие годы применение минеральных и органических удобрений постепенно возрастало. В среднем за 1986–1990 гг. внесли в почву в 3.6 раза больше азотных удобрений по сравнению с 1966–1970 гг., фосфорных — в 5.0 и калийных — в 3.3 раза. За этот же период поступление азота в почву увеличилось в 2.2 раза, фосфора и калия — в 2.3 раза. Благодаря этому стал улучшаться баланс питательных веществ в землях страны. Начиная с 1976 г., баланс азота стал положительным, т.е. его поступление в почву стало превышать вынос урожаями. Еще более благоприятной была ситуация с фосфором, внесение которого в почву с минеральными и органическими удобрениями превышало его вынос урожаями, уже начиная с 1971 г. Баланс калия за все го-

ды исследований, исключая 1981–1985 гг., характеризовался как дефицитный. Возмещение выноса  $K_2O$  урожаями изменялось от 16 до 93%. Лишь в первой половине 1980-х гг. приходная статья баланса калия равнялась расходной.

В 1975 г. был закончен первый цикл агрохимического обследования пахотных почв, согласно которому 51% пашни характеризовался очень низким и низким содержанием подвижного фосфора, и его распределение по территории было крайне неравномерным. В Нечерноземной зоне Центрального федерального округа таких площадей насчитывали 62%, в Волго-Вятской зоне Приволжского федерального округа и на Северном Кавказе – 65%, в Уральском – 78% и в Дальневосточном – 83%. В то же время в Западной Сибири преобладали почвы с высоким содержанием подвижного фосфора (44%), с низкой обеспеченностью – только 17%.

Полученные результаты агрохимического обследования почв и данные о балансе питательных веществ стали научной основой для организации целенаправленной работы по повышению плодородия почв. С этой целью было разработано несколько целевых программ повышения плодородия почв, в которых особое внимание уделяли фосфатной проблеме. Ее решение осуществляли 2-мя способами. Во-первых, дифференциацией доз фосфора в зависимости от содержания  $P_2O_5$  в почвах. При их низкой и средней обеспеченности подвижным фосфором внесение фосфора удобрений должно было превышать вынос планируемым урожаем, при повышенной обеспеченности – равняться выносу, при высокой обеспеченности  $P$ -удобрения не применять. Во-вторых, на почвах с низким содержанием подвижного фосфора и кислой реакцией почвенной среды рекомендовали вносить фосфоритную муку в дозах  $P300$ – $800$  за один прием, что позволяло быстро повысить запас подвижных фосфатов в почве и довести их до намеченного уровня. Такой прием получил название фосфоритование и был широко использован при проведении работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП), что дало возможность в короткий срок перевести малопродуктивные почвы в более высокую категорию.

В отличие от фосфора пахотные почвы страны характеризуются более высоким содержанием подвижного калия. Результаты первого цикла агрохимического обследования показали, что только 16% площадей относилось к категории низкообеспеченных, и основная их доля приходилась на почвы Нечерноземной зоны. По состоянию на 1 января 1971 г. таких площадей насчитывалось почти 40%. В связи с этим основной поток калийных удобрений был направлен в эту зону, что поз-

волило создать за 25-летний период в земледелии данного региона положительный баланс калия и снизить удельный вес пашни с низким содержанием  $K_2O$  до 22%.

В этот период появился интерес к прогнозированию изменения агрохимических свойств почв в зависимости от интенсивности применения удобрений. Для установления закономерностей изменения степени обеспеченности почв этими питательными веществами стали использовать данные длительных полевых опытов с удобрениями и результаты повторного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных предприятий. Исследования показали, что темпы накопления подвижных форм фосфора и калия в разных почвах значительно различались. Эти различия были ощутимы даже в пределах одного типа почв и зависели от множества факторов. С увеличением содержания в дерново-подзолистых почвах физической глины и гумуса остаточное количество подвижного фосфора уменьшалось в результате образования фосфорорганических соединений и прочных связей фосфора с минеральными частицами. Установлена тесная связь между остаточным содержанием подвижного фосфора, величиной рН и исходным запасом  $P_2O_5$  в почве до закладки опыта. По мере снижения кислотности увеличивалось остаточное количество подвижного фосфора в форме фосфатов кальция и снижалось содержание подвижного алюминия [3]. Для того чтобы дерново-подзолистую почву перевести из средней группы обеспеченности в повышенную, затрачивалось 60–96 кг  $P_2O_5$ /га на 10 мг/кг почвы, а из повышенной в высокую – почти в 2 раза меньше [4].

В длительных полевых опытах систематическое внесение калийных удобрений коренным образом меняло калийный режим почв, увеличивало содержание водорастворимого, обменного и труднодоступного калия [5–7], изменения в калийном режиме почв были тесно связаны с интенсивностью баланса калия и генетическими свойствами почв [8].

Результаты первого цикла агрохимического обследования показали, что почвы с недостаточным содержанием подвижного фосфора занимали в целом по России 80%, подвижным калием – 36% [9], т.е. нуждались в улучшении. Для организации работы по программе КАХОП на научной основе потребовалась разработка соответствующей нормативно-справочной основы, которая была подготовлена ВНИПТИХИМ на базе длительных полевых опытов с искусственно созданными фосфатными и частично калийными фонами и были разработаны “Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному

**Таблица 1.** Дозы удобрений, обеспечивающие увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия на 10 мг/кг или на 1 мг/100 г почвы

Типы почв	Гранулометрический состав почв	Дозы, кг/га	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Дерново-подзолистые	Песчаные и супесчаные	50–60	40–60
	Суглинистые	70–90	60–80
	Глинистые	100–120	80–100
Дерново-подзолистые глеевые	Суглинистые	150–160	–
Серые лесные	Песчаные и супесчаные	70–80	60–70
	Суглинистые	90–110	80–90
	Глинистые	100–120	80–90
Черноземы оподзоленные, выщелоченные	Песчаные и супесчаные	90–100	–
	Суглинистые	100–110	–
	Глинистые	120–130	–
Черноземы приазовские и предкавказские	Суглинистые	110–130	–
	Суглинистые	90–110	–

Примечание. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O определяли по методу Кирсанова, в черноземах оподзоленных, выщелоченных, типичных и обыкновенных – по методу Чирикова, в черноземах приазовских, предкавказских и каштановых почвах – по методу Мачигина.

агрохимическому окультуриванию полей” [10]. В этом документе были представлены дозы фосфора и калия, которые надо внести сверх выноса урожаями для увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия на 10 мг/кг или 1 мг/100 г почвы. Эти дозы дифференцированы по основным типам почв и их гранулометрическому составу (табл. 1).

Эти данные были использованы при составлении прогноза содержания подвижного фосфора на примере областей бывшего Центрального экономического района на 1985 г. Сравнение прогнозных величин с фактическими показало хорошую сходимость результатов. Это дало возможность применения представленных данных для составления прогноза изменения средневзвешенного содержания подвижного фосфора на региональном уровне при положительно складывающемся балансе P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в земледелии [11].

Начиная с 1991 г., применение удобрений в России резко снизилось, и баланс питательных веществ стал отрицательным, т.е. их вынос урожаями превышал поступление в почву с минеральными и органическими удобрениями, что рано или

**Таблица 2.** Величины выноса, снижающие содержание питательных веществ на 10 мг/кг или на 1 мг/100 г почвы [14]

Типы почв и гранулометрический состав	Вынос, кг/га
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Дерново-подзолистая на легком песчано-пылевом суглинке	100–250
Дерново-подзолистая пылевидно-тяжелосуглинистая	67–500
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	42–125
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	42–45
Среднее для дерново-подзолистых почв	71
Серая лесная суглинистая	77–125
K <sub>2</sub> O	
Дерново-подзолистая песчаная	31–62
Дерново-подзолистая супесчаная	43
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	91
Дерново-подзолистая суглинистая	40–45
Среднее	48

поздно должно было повлечь за собой снижение содержания элементов питания в почвах.

Для того, чтобы представить масштабы этого процесса и составить соответствующий прогноз, нужны иные нормативы, предоставляющие собой величины выноса, снижающие содержание питательных веществ в почвах на 10 мг/кг или на 1 мг/100 г. Эти данные были получены в длительных полевых опытах Геосети ВНИИА в Нечерноземной зоне в вариантах, где вынос фосфора и калия превышал и поступление в почву. Согласно полученным данным, на величину выноса оказывали влияние тип почвы и ее гранулометрический состав (табл. 2).

Расчеты, выполненные для Центральной части Нечерноземной зоны на 2010 г. дали удовлетворительный результат, поскольку прогнозные и фактические величины были достаточно близкими [12]. Вместе с тем следует отметить, что прогнозирование проводили на региональном уровне, и величины доз удобрений и выноса питательных веществ на “сдвиг” содержания подвижных форм фосфора и калия для каждого региона определяли по средневзвешенным показателям, исходя из типа и гранулометрического состава почв.

Возникает вопрос, правомерно ли использовать данные, приведенные в табл. 1, 2 для прогнозирования изменения содержания подвижных

**Таблица 3.** Затраты удобрений, внесенных сверх выноса на увеличение содержания питательных веществ в почвах

Почвы	Баланс, кг/га	“Сдвиг”, мг/кг	Затраты на 10 мг/кг, кг/га	Источник
<b>Фосфорные удобрения</b>				
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	1060	69	154	С-ЗНИИСХ [21]
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	210	248	85	ЦОС ВНИИА [13]
	1450	96.9	150	ЦОС ВНИИА [14]
	866	16.8	52	Пермский НИИСХ [17]
Серая лесная среднесуглинистая	232	29	80	Владимирский НИИСХ [18]
Дерново-подзолистая песчаная	-224	-45	50	Брянская ГСХА [15]
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	-600	-56	107	Институт льна [16]
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый	1060	69	71	Мичуринский ГАУ [20]
Чернозем карбонатный	1170	45	260	Ставропольский НИИСХ [19]
<b>Калийные удобрения</b>				
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	355	85	42	С-ЗНИИСХ [21]
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	499	98	46	ЦОС ВНИИА [13]
	391	29	135	ЦОС ВНИИА [14]
	2160	56	65	ЦОС ВНИИА [14]
	1310	22	60	Пермский НИИСХ [17]
Серая лесная	180	23	78	Владимирский НИИСХ [18]

форм фосфора и калия на отдельных полях, поскольку, как уже упоминалось, что на величину расхода удобрений и выноса питательных веществ на “сдвиг” в ту или иную сторону влияют также и другие факторы: реакция почвенной среды, содержание гумуса и исходное содержание  $P_2O_5$  и  $K_2O$ .

Анализ опубликованных материалов длительных полевых опытов показал, что научно-исследовательскими учреждениями была проведена громадная экспериментальная работа по изучению эффективности применения удобрений в различных природно-климатических зонах страны. Вместе с тем приходится констатировать, что полученные данные трудно использовать в качестве нормативно-справочной базы для прогнозирования изменения агрохимических показателей почвенного плодородия по ряду причин. В одних случаях отсутствуют данные агрохимической характеристики почв в ротациях севооборотов, в других не приведен баланс питательных веществ также в ротациях, в третьих – агрохимические свойства почв приведены для одних севооборотов, а баланс для других, что не позволяет установить зависимость между этими показателями и определить затраты удобрений на увеличение содержания того или иного питательного вещества в почве при положительном балансе и величины,

снижающие степень обеспеченности почв при преобладании выноса элементов питания над поступлением (табл. 3).

Из рассмотренных материалов представилась возможность получить некоторую информацию, по которой можно было рассчитать затраты фосфорных и калийных на “сдвиг” содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  на 10 мг/кг почвы, как в сторону увеличения и в некоторых случаях в сторону уменьшения (табл. 4, 5). Однако принципиально нового из этой информации почерпнуть не удалось и не было возможности расширить базу уже имеющихся данных, приведенных в табл. 1, 2.

Кроме того, представленные опыты в подавляющем большинстве проведены в Нечерноземной зоне, для черноземных почв подобные данные отсутствуют, что затрудняет прогноз динамики плодородия почв обширной территории.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения нормативно-справочной информации, использование которой позволяет прогнозировать содержание подвижных форм фосфора и калия в почвах различной интенсивности ведения земледелия, необходим единый

**Таблица 4.** Величины выноса, снижающие содержание питательных веществ на 10 мг/кг или на 1 мг/100 г, кг/га

Почва	Баланс, кг/га	“Сдвиг”, мг/кг	Вынос, снижающий содержание на 10 мг/кг, кг/га	Источник
<b>Фосфор</b>				
Дерново-подзолистая песчаная	-224	-45	50	Брянская ГСХА [15]
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	-600	-56	107	Институт льна [16]
<b>Калий</b>				
Дерново-подзолистая песчаная	-267	-62	43	Брянская ГСХА [15]
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	-998	-51	196	Институт льна [16]

**Таблица 5.** Баланс фосфора и динамика подвижного фосфора в опыте по изучению последствий фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве

Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Баланс фосфора за 10 лет, кг/га	Изменение содержания P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	Величина выноса, снижающего содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 10 мг/кг, кг/га
исходное 1992 г.	конечное 2001 г.			
<b>Без внесения извести</b>				
18	17	-183	-1	1830
37	21	-237	-16	148
86	34	-277	-52	53
43	1	-267	-12	223
65	40	-299	-25	120
126	62	-322	-64	50
80	42	-301	-38	79
129	61	-324	-68	48
198	76	-341	-122	28
<b>С внесением извести</b>				
19	17	-263	-2	1320
40	22	-303	-18	168
87	37	-334	-50	67
48	36	-310	-12	258
65	42	-329	-23	143
118	63	-343	-55	62
84	45	-329	-39	84
139	62	-339	-77	44
196	77	-347	-119	29

методический подход. Рассмотрим это на примере одного из длительных полевых опытов. Исследования проведены в полевом опыте ВНИИА на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, в котором в течение 6 лет за счет внесения различных доз фосфорных удобрений были созданы различные уровни содержания подвижного фосфора в почве, а затем в течение 10 лет изучали последствия удобрений, т.е. фосфорные удобрения

не вносили. Это позволило создать участки почвы, которые характеризовались различной степенью обеспеченности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (табл. 5).

После прекращения внесения фосфорных удобрений постепенно стали наблюдать снижение содержания подвижного фосфора, и за 10 лет произошли заметные перемены, которые в большей степени коснулись вариантов с более высокой степенью обеспеченности почвы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. За этот пе-

**Таблица 6.** Величины выноса фосфора (кг/га), снижающие его содержание в дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почве на 10 мг/кг или на 1 мг/100 г

Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в почве, мг/кг	Вынос фосфора, снижающий его содержание в почве на 10 мг/кг или 1 мг/100 г
<25	2000
25–50	248
51–100	111
101–150	62
151–200	34

риод содержание подвижных фосфатов на участках с повышенным и высоким их содержанием снизилось более чем в 2 раза. Известкование почвы снижало скорость перехода фосфатов удобрений в менее растворимые формы, содержание подвижного фосфора в менее кислых почвах стабилизировалась на более высоком уровне, чем в кислых. Располагая данными о выносе фосфора урожаями и снижению содержания подвижного фосфора в почве, нетрудно определить величину выноса P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, которая уменьшает содержание подвижного фосфора на 10 мг/кг почвы. Данные табл. 5 показали, что при высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором скорость ее снижения очень высокая. При очень низком содержании P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> практически наступает стабилизация его содержания. Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что величина выноса фосфора, которая снижает удельное содержание подвижных фосфатов в почве, находится в прямой зависимости от уровня обеспеченности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, определенного методом Кирсанова. Корреляционное отношение при этом составило 0.97 при 0.001%-ном уровне значимости. Установленная зависимость представлена в табл. 6, из которой следует, что по мере увеличения запаса подвижного фосфора снижается величина выноса P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, понижающая его удельное содержание в почве.

Аналогичная закономерность также выявлена на черноземах карбонатных Краснодарского края.

При определении подвижного фосфора по методу Мачигина вынос фосфора урожаями в 220 кг/га за минусом внесения снизил запас подвижных фосфатов на 10 мг/кг почвы, а при обеспеченности 25 мг/кг – 307 кг/га. Это авторы объясняют тем, что величина выноса, снижающая удельное содержание подвижного фосфора в черноземе карбонатном, находится в обратно пропорциональной зависимости от обеспеченности почв подвижными фосфатами.

Таким образом, приведенные материалы свидетельствуют о том, что прогнозирование содержания подвижных форм фосфора и калия с помощью балансового метода обеспечило получение удовлетворительного результата в Нечерноземной зоне. В других природно-климатических зонах подобные исследования не проводили.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже отмечено, применение минеральных удобрений резко сократилось. Баланс питательных веществ в земледелии страны стал складываться со значительным превышением выноса над их поступлением в почву. За 25 лет с 1991 по 2015 г. дефицит азота составит –56 млн т, фосфора – –12, калия – –76, всего – –144 млн т или 40 кг/га/год (табл. 7). Это означает, что больше половины получаемого в настоящее время урожая формируется за счет почвенных запасов, и уже наметилась тенденция к снижению содержания питательных веществ в пашне России. В масштабе страны это еще не так заметно. Однако в отдельных регионах изменения довольно существенные. В первую очередь это касается Нечерноземной зоны, где в отдельных ее регионах снижение степени обеспеченности почв питательными веществами вполне очевидно.

Особую озабоченность вызывает ситуация, которая сложилась с балансом фосфора, поскольку за последние 25 лет вынос этого элемента урожаем превысил его поступление в почву более чем на 12 млн т, что является предпосылкой к снижению содержания подвижного фосфора в почвах.

В первую очередь, это касается регионов Нечерноземной зоны, где распространены менее буферные почвы, которые быстрее по сравнению с

**Таблица 7.** Баланс питательных веществ в земледелии России, млн т (в сумме за 25 лет)

Питательные вещества	1996–1990 гг.			1991–2015 гг.		
	поступление	вынос	баланс	поступление	вынос	баланс
Азот	125	105	20	45	102	–56
Фосфор	76	41	35	23	35	–12
Калий	95	112	–17	27	103	–76
Всего	296	258	38	95	240	–144

черноземами реагируют на “сдвиг” как в сторону увеличения, так и снижения запасов подвижных форм фосфора. По данным длительных полевых опытов Геосети ВНИИА, вынос из дерново-подзолистых почв сверх поступления каждых 50–100 кг фосфора/га приводит к снижению содержания  $P_2O_5$  на 10 мг/кг почвы, для серых лесных почв аналогичный показатель составляет 80–125 кг/га, для карбонатных черноземов в зависимости от исходного содержания подвижного фосфора – 102–511 кг/га [22]. Уже наметилась устойчивая тенденция в целом в России увеличения доли пахотных почв, недостаточно обеспеченных подвижным фосфором и соответственно сократилась доля достаточно обеспеченных. Причем подобная тенденция проявляется не только в зоне распространения дерново-подзолистых почв, но и в регионах, где преобладают черноземы. Например, в Тульской обл., в которой 56% пашни расположено на черноземных почвах, по результатам 10-го цикла обследования среднее содержание подвижного фосфора снизилось на 16 мг/кг [23], в Ставропольском крае в 15-ти районах уменьшилась степень обеспеченности почв  $P_2O_5$  и в 12-ти –  $K_2O$  [24]. В республике Хакасия во всех регионах к настоящему времени зафиксирована убыль запасов подвижных форм фосфора и калия по сравнению с первым туром обследования [25].

Согласно долгосрочному прогнозу социально-экономического развития РФ на период до 2030 г., намечено значительное увеличение производства зерна. Этот прогноз разработан с учетом 3-х сценариев: инерционного, базисного и оптимистического [26]. Инерционный сценарий базируется на сохранении достигнутого уровня почвенного плодородия, базовый ориентирован не только на сохранение, но и на повышение плодородия почв, оптимистический предполагает дальнейшее воспроизводство почв, что позволило бы получить среднегодовой валовой сбор зерна 145–150 млн т.

Согласно оптимистическому сценарию развития АПК, предполагается воспроизводство почвенного плодородия, поскольку без этого невозможно будет получать урожайность зерновых культур  $\approx 32$  ц/га. В связи с тем, что в настоящее время значительная часть пахотных почв нуждается в агрохимическом окультуривании, потребность в удобрениях должна определяться как в расчете на планируемую урожайность, так и на повышение содержания питательных веществ в почве. Потребность зерновых культур в минеральных удобрениях составляет 7.4 млн т, в том числе 3.2 – азотных, 2.1 – фосфорных и 2.1 млн т – калийных. Исходя из этого, был составлен прогноз баланса питательных веществ в земледелии России к 2030 г. (табл. 8). Внесение фосфорных удобрений при значительном превышении поступления над выносом позволяет постепенно перевести почвы с низким и средним содержанием  $P_2O_5$  в более высокую категорию, небольшой

**Таблица 8.** Прогноз баланса питательных веществ в земледелии России в расчете в получение 150 млн т зерна к 2030 г., кг/га пашни

Статьи баланса	Азот	Фосфор	Калий	Всего
Вынос урожаями	53	18	53	124
Поступление в почву, всего	60	40	41	141
В том числе с минеральными удобрениями	46	37	37	121
Баланс	7	22	–12	17

дефицит калия будет способствовать повышению калийного режима почв Нечерноземной зоны, т.к. предполагают основную часть калия направить именно в этот регион.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения 150 млн т зерна необходимо целенаправленная работа по повышению плодородия почв, которую можно реализовать, используя научно обоснованные данные о регулировании фосфатного и калийного режимов основных почвенно-климатических зон нашей страны. Подробную информацию можно получить в длительных полевых опытах. Это должно стать одной из приоритетных задач Географических опытов с удобрениями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного окультуривания почв в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. 2017. № 11. С. 21–30.
2. Постников А.В., Шафран С.А. Баланс питательных веществ // Земледелие. 1968. № 10. С. 21–25.
3. Бабарина Э.А. Продуктивность полевого севооборота, фосфатный и калийный режимы дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Агрохимия. 1991. № 2. С. 22–28.
4. Литвак Ш.И., Бабарина Э.А., Никитина Л.В., Човжик В.П. Влияние различных систем удобрения на продуктивность полевого севооборота и фосфатно-калийного режима на дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почве // Агрохимия. 1990. № 8. С. 43–49.
5. Прокошев В.В. Эффективность калийных удобрений на супесчаных почвах // Химия в сел. хоз-ве. 1980. № 9. С. 18–20.
6. Прокошев В.В. Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений // Агрохимия. 1985. № 4. С. 32–41.
7. Прокошев В.В. Оптимизация калийного питания растений // Параметры плодородия основных типов почв. М.: Агрохимпромиздат, 1988. С. 95–106.
8. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.

9. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2013. 296 с.
10. Постников А.В., Шафран С.А. Временные нормативы затрат удобрений на проведение работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей. М.: ВНИПТИХИМ, 1982. 10 с.
11. Шафран С.А. Прогнозирование агрохимических показателей почвенного плодородия // Плодородие почв и пути его повышения. М.: Колос, 1983. С. 129–133.
12. Шафран С.А. Прогноз содержания фосфора и калия в почвах Центрального района Нечерноземной зоны // Агрохимия. 2006. № 9. С. 5–12.
13. Алиев А.М., Варламов В.А., Державин А.М. Эффективность удобрений при их комплексном применении со средствами защиты растений в полевом севообороте (опыт СШ 216 с) // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. М.: ВНИИА, Вып. 1. 2011. С. 17–33.
14. Ефремов В.Ф. Изучение роли органического вещества навоза в повышении плодородия дерново-подзолистых почв // Там же. С. 47–71.
15. Белоус Н.М., Драганская М.Г., Бельченко С.А. Изменение параметров плодородия песчаных почв в результате длительного применения удобрений // Там же. С. 95–101.
16. Кузьменко Н.Н. Мониторинг плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности льняного севооборота при длительном применении разных систем удобрения // Там же. С. 144–155.
17. Косолапова А.И., Завьялова Н.Е., Ямалтдинова В.Р. Влияние длительного применения органических удобрений и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и продуктивность севооборота в условиях Предуралья // Там же. С. 156–175.
18. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. М., Итоги агрохимических исследований на серых лесных почвах Владимирского ополья // Там же. С. 176–202.
19. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Продуктивность чернозема обыкновенного при длительном систематическом применении минеральных удобрений // Там же. С. 17–33.
20. Арбызов Н.А. Результаты многолетнего полевого опыта с периодическим внесением фосфорных удобрений // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. Вып. 2. М.: ВНИИА, 2012. С. 9–26.
21. Пасынков А.В., Светлакова Е.В., Пасынкова Е.Н. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборота при длительном применении минеральных удобрений // Там же. С. 267–287.
22. Касицкий Ю.Н., Лупина А.А. Эффективность возрастающих доз фосфорных удобрений в зависимости от времени взаимодействия с различными типами почв в одинаковых климатических условиях // Совершенствование методологических исследований фосфорного режима почв, оптимизация фосфорного питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах. Сб. докл. симп. М.: ВНИПТИХИМ, 1999. С. 74–90.
23. Сандов М.М., Новикова Г.А., Молчанова Е.М. Состояние плодородия почв Тульской области // Агрохим. вестн. 2016. № 1. С. 8–11.
24. Ситников В.Н., Егоров В.П., Есаулко А.Н. Мониторинг плодородия почв Ставропольского края: динамика агрохимических показателей с учетом зональных особенностей почв // Агрохим. вестн. 2018. № 4. С. 8–13.
25. Грибоедова Н.А., Елизарьев Н.А., Кравченко Т.В. Состояние почвенного плодородия пашни республики Хакассия и мероприятия по его улучшению // Агрохим. вестн. 2014. № 1. С. 5–7.

## Scientific Basis for Predicting the Content of Mobile Forms of Phosphorus and Potassium in Soils

S. A. Shafran<sup>a,#</sup> and N. A. Kirpichnikov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

<sup>#</sup> E-mail: shafran38@mail.ru

The data obtained in long-term field experiments to study the efficiency of fertilizer systems of different intensity on the dynamics of the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil. In excess of their income over fertilizer removal by crops was an increase of phosphorus content in soils. Such a pattern for potassium is fixed only in sod-podzolic soils. With the predominance of the removal of nutrients over their inputs into the soil, there was a decrease in the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soils. More intensively this process took place in sandy and sandy loam soils. In a long field experiment conducted on sod-podzolic loamy soil, it was found that the amount of phosphorus removal, which reduces the specific content of mobile phosphates, largely depends on the degree of security of  $P_2O_5$ . As the content of mobile phosphorus increased, the value of  $P_2O_5$  removal decreased, reducing its content by 1 mg/kg of soil. Statistical processing of the material showed that the rate of reduction of the stock of mobile phosphorus is directly dependent on the level of security  $P_2O_5$ . The correlation ratio was 0.97 at 0.001% significance level.

*Key words:* forecasting, content of mobile forms of elements, phosphorus, potassium, soil.