



# Вести БГПУ

Ежеквартальный научно-методический журнал.  
Издается с июня 1994 г.

№ 3(93) 2017

СЕРИЯ 3. Физика. Математика. Информатика.  
Биология. География

Главный редактор А. И. Жук

**Редакционная коллегия:**

В. В. Шлыков (зам. главного редактора) (Республика Беларусь)  
В. В. Амелькин (Республика Беларусь)  
Н. В. Бровка (Республика Беларусь)  
М. К. Буза (Республика Беларусь)  
И. В. Белько (Республика Беларусь)  
А. Н. Витченко (Республика Беларусь)  
В. Б. Кадацкий (Республика Беларусь)  
С. Г. Григорьев (Российская Федерация)  
В. В. Гриншкун (Российская Федерация)  
В. Н. Киселев (Республика Беларусь)  
В. М. Котов (Республика Беларусь)  
Н. В. Лазакович (Республика Беларусь)  
Н. И. Листопад (Республика Беларусь)  
С. Мицкевичюс (Литовская Республика)  
В. Н. Русак (Республика Беларусь)  
В. Р. Соболев (Республика Беларусь)  
И. М. Степанович (Республика Беларусь)  
В. Б. Таранчук (Республика Беларусь)  
А. Т. Федарук (Республика Беларусь)  
Н. Л. Шапекова (Республика Казахстан)  
М. Г. Ясовеев (Республика Беларусь)

**Адрес редакции:**

Ул. Могилевская, 37, к. 124,  
220007, Минск,  
тел. 219-78-12  
e-mail: vesti@bspu.by

Свидетельство № 1353 ад 06.05.10.  
Министерства информации  
Республики Беларусь

Подписано а печать 21.09.17.  
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура *Ариал*. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 9,20.  
Тираж 100 экз. Заказ 541.

**Издатель и полиграфическое исполнение:**

Учреждение образования «Белорусский  
государственный педагогический  
университет имени Максима Танка».  
Свидетельство о государственной  
регистрации издателя печатных изданий  
№ 1/236 ад 24.03.14.  
Лицензия № 02330/448 ад 18.12.13.  
Ул. Советская, 18,  
220030, Минск.

Ответственный секретарь О. В. Юхновец  
Редактор О. В. Юхновец  
Компьютерная верстка А. А. Покало

© Вести БГПУ. Серия 3. 2017. № 3.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии от 02.02.2011 г. № 26 журнал «Весті БДПУ. Серія 3» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, географическим, педагогическим (теория и методика обучения математике, физике, информатике), техническим (информатика, вычислительная техника и управление), физико-математическим (математика, оптика, физика конденсированного состояния) наукам

Журнал «Весті БДПУ. Серія 3» согласно Постановлению ВАКа от 08.06.2009 № 3 выходит:  
№ 1, 3 по научным направлениям «Биология. География. Информатика»,  
№ 2, 4 по научным направлениям «Физика. Математика. Методика преподавания»

В соответствии с договором  
между БГПУ и ООО «Научная электронная библиотека» (лицензионный договор 676-12/2016 от 21.12.2016 г.)  
журнал «Весті БДПУ» (в 3-х сериях) размещается на платформе eLIBRARY.RU и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) – бесплатный общедоступный инструмент измерения публикационной активности ученых и организаций.

## **Змест**

### **Біялогія**

Цыбулько Н. Н., Пунченко С. С., Жукова И. И. ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ И БАЛАНС АЗОТА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ ЭРОДИРОВАННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО РАПСА .....	5
Кулеш В. Ф., Маврищев В. В. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УЧЕБНОЙ ПОЛЕВОЙ ПРАКТИКИ ПО ЭКОЛОГИИ.....	16
Черник В. Ф. ЦИТОЭМБРИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ГРАНИЦАХ АРЕАЛОВ .....	23
Маврищев В. В., Кулеш В. Ф., Бонина Т. А., Махнач А. Е. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША РЕЧНОГО БОБРА В ПОЙМАХ МАЛЫХ РЕК БОБРУЙСКОЙ РАВНИНЫ: УСЛОВИЯ ПРОЖИВАНИЯ .....	31

### **Геаграфія**

Сидорович А. А. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА МИГРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В БЕЛАРУСИ В НАЧАЛЕ XXI в .....	38
Жигальская Л. О. ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....	47
Гусенок М. И. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА .....	57
Чернова И. В., Ясовеев М. Г. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СКЛАДИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ .....	64
Гусев А. П. ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ (ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ПОЛЕССКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ ПРОВИНЦИИ) .....	71
Быкова М. Д. ТЕРЦИАРИЗАЦИЯ КАК ИНДИКАТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА КИЕВА .....	77

### **Інфарматыка**

Гардейчик С. М., Шербаф А. И. ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА LARAVEL ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ И СЕРВИСОВ .....	82
--	----

## **Contents**

### **Biology**

Tsybulko N., Punchenko S., Zhukova I. CONSUMPTION OF PLANTS AND NITROGEN BALANCE ON SOD-PODZOLIC SOILS OF DIFFERENT EROSION IN THE CULTIVATION OF SPRING RAPE .....	5
Kulesh V., Mavrishchev V. REALIZATION OF COMPETENCE APPROACH DURING CONDUCTING THE EDUCATIONAL FIELD PRACTICE OF ECOLOGY .....	16
Chernik V. CYTOEMBRYOLOGICAL INVESTIGATION OF POPULATIONS OF RARE SPECIES OF PLANTS ON RANGE BORDERS .....	23
Mavrishchev V., Kulesh V., Bonina T., Makhnach A. ECOLOGICAL NICHE OF RIVERINE BEAVER IN THE FLOODPLAINS OF SMALL RIVERS IN BOBRUISK PLAIN: CONDITIONS OF HABITATION .....	31

### **Geography**

Sidarovich A. SPATIAL STRUCTURE OF MIGRATION IN BELARUS AT THE BEGINNING OF THE XXI century .....	38
Zhigalskaya L. ECONOMIC-GEOGRAPHICAL FACTORS OF ELECTRIC POWER INDUSTRY LOCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS .....	47
Husionak M. SOCIAL-ECONOMIC DEVELOPMENT OF RURAL AREA OF VITEBSK REGION AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION .....	57
Chernova I., Yasoveev M. CONCEPTUAL MODEL OF GEOECOLOGICAL SAFETY OF STORAGE OF SOLID HOUSEHOLD WASTE .....	64
Gusev A. THE ASSESSMENT OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL TENDENCIES (EASTERN PART OF POLESSIE LANDSCAPE PROVINCE) .....	71
Bykova M. TERTIARIZATION AS AN INDICATOR OF TRANSFORMATION OF URBAN SPACE OF KIEV .....	77

### **Informatics**

Gardeichik S., Sherbaf A. COMPUTING PLATFORM LARAVEL FOR BUILDING WEB-ORIENTED APPLICATIONS AND SERVICES .....	82
--	----

УДК 57.23:[633.853.494:631.4]

UDC 57.23:[633.853.494:631.4]

## ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ И БАЛАНС АЗОТА НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ ЭРОДИРОВАННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО РАПСА

## CONSUMPTION OF PLANTS AND NITROGEN BALANCE ON SOD- PODZOLIC SOILS OF DIFFERENT EROSION IN THE CULTIVATION OF SPRING RAPE

**Н. Н. Цыбулько,**

*кандидат сельскохозяйственных наук,  
заместитель начальника департамента  
по ликвидации последствий катастрофы  
на Чернобыльской АЭС;*

**С. С. Пунченко,**

*кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник Института  
почвоведения и агрохимии;*

**И. И. Жукова,**

*кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры общей биологии  
и ботаники БГПУ*

**N. Tsybulko,**

*Candidate of Agriculture,  
Deputy Head of the Department for  
liquidation of consequences of the  
Catastrophe on the Chernobyl, NPP;*

**S. Punchenko,**

*Candidate of Agriculture, Senior researcher,  
Institute of soil science and  
agrochemistry;*

**I. Zhukova,**

*Candidate of Agriculture, associate professor  
of general biology and botany,  
BSPU*

Поступила в редакцию 10.03.17.

Received on 10.03.17.

Приведены результаты изучения потребления и баланса азота на дерново-подзолистых почвах разной эродированности при возделывании ярового рапса. Установлено, что основная часть азота потребляется растениями в период от всходов до фазы цветения. Вынос элемента с надземной биомассой на средне- и сильноэродированной почве ниже по сравнению с неэродированной почвой на 20–30 %. В выносе азота урожаем основной и побочной продукции почвенный азот занимает от 57 до 71 %. С увеличением эродированности почвы возрастает роль азота удобрений в питании растений. На средне- и сильноэродированной почве доля его в общем выносе составляет соответственно 36 и 43 %. Коэффициент использования азота зависит от доз азотных удобрений, эродированность почвы несущественно влияет на этот показатель. В эрозионном агроландшафте в системе почвенной катены при преобладании плакорной части над склоновой частью баланс азота практически одинаковый при внесении средних и дифференцированных по элементам склона доз азотных удобрений, тогда как при равном соотношении плакорной и склоновой частей, а также при преобладании склоновой части над плакорной внесение азотных удобрений в дифференцированных дозах способствует улучшению условий азотного питания растений.

*Ключевые слова:* потребление, хозяйственный вынос, баланс, азот, азотные удобрения, эродированность почвы.

The article presents the results of the study of nitrogen consumption and balance on sod-podzolic soils of different erosion in the cultivation of spring rape. It was found that most of the nitrogen is consumed by plants during the period from germination to flowering phase. Removal of an element from the above-ground biomass in the soil is medium- and strongly eroded soils lower compared to not eroded soil by 20–30 %. The removal of nitrogen main crop and sideline products soil nitrogen takes from 57 to 71 %. With the increase of soil erosion, the role of fertilizer nitrogen in plant nutrition increases. On medium- and strongly eroded soil its share in total rushing is respectively 36 and 43 %. The utilization of nitrogen depends on the rates of nitrogen fertilizers, soil erosion has insignificant impact on this indicator. The erosion agrolandscape system soil catena with the predominance of upland part of the slope part of the nitrogen balance are virtually the same when making medium and differentiated elements slope rates of nitrogen fertilizers, while an equal ratio of upland and slope parts, as well as the prevalence of side slopes of the upland application of nitrogen fertilizers differentiated rates of nitrogen contributes to the improvement of plant nutrition conditions.

*Keywords:* consumption, hardware removal, balance, nitrogen, nitrogen fertilizers, soil erosion.



**Введение.** В Беларуси в сельскохозяйственном пользовании находится 425 тыс. га пахотных земель, подверженных водной эрозии [1]. Эрозионные процессы приводят к смыву органического вещества, элементов питания, ухудшению почвенного плодородия. Потери элементов питания в результате водной эрозии зависят от ее интенсивности и использования склоновых земель. С жидким стоком и смываемой почвой теряется до 250–450 кг/га гумуса, 5–20 азота, 5–15 – фосфора, 5–15 – калия, 5–25 – кальция, 2–10 кг/га – магния [2; 3].

Дерново-подзолистые почвы характеризуются низким генетическим плодородием, особенно запасами органического вещества и азота. К тому же, только незначительная часть азота (1–3 %), находящаяся в минеральных соединениях, непосредственно доступна растениям [4]. Эрозионные процессы, приводя к смыву гумусового слоя и вовлечению в обработку иллювиального горизонта, значительно усугубляют данную проблему. Поэтому основным источником возмещения дефицита азота являются азотные удобрения, которые обеспечивают повышение урожайности на 20–40 % и более, увеличивают содержание белка в зерне на 2–3 %.

В настоящее время рекомендации по применению азотных удобрений на эродированных почвах базируются на том, что для получения близкой по величине или одинаковой урожайности с незэродированными почвами требуется внесение более высоких доз удобрений. Для расчета дополнительных доз азота и других макроэлементов на смытых почвах в нашей республике [5; 6] и странах СНГ [7; 8] разработаны специальные нормативы. На слабоэродированных почвах дозы удобрений следует увеличивать на 20–30 %, на средне- и сильноэродированных почвах – на 30–60 % [9]. Такой подход к применению удобрений во многих случаях является экологически небезопасным и экономически необоснованным.

Система применения азотных удобрений в эрозионных агроландшафтах должна быть дифференцированной и адаптированной к разным типам земель, обеспечивая минимальные потери азота и эффективное его

использование. Эти требования к применению азота могут быть реализованы при детальной оценке его баланса с учетом разнообразия элементов рельефа и степени смывости почв.

Цель настоящей работы – изучить динамику потребления и баланс азота в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности в зависимости от применения дифференцированных доз азотных удобрений.

**Материалы и методы.** Исследования проводили в 2012–2014 гг. на стационаре «Стоковые площадки» Института почвоведения агрохимии НАН Беларуси, расположенном на выпуклом склоне южной экспозиции крутизной 5–7°. Стоковые площадки расположены по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. Объектом исследований являлись дерново-подзолистые легкосуглинистые несмытая, среднесмытая и сильносмытая почвы. Агрохимические показатели почв: незэродированная почва –  $pH_{KCl}$  5,60, гумус 1,84 %, общий азот 967 мг/кг, подвижный фосфор и калий 352 и 286 мг/кг, соответственно; среднеэродированная почва –  $pH_{KCl}$  5,38, гумус 1,66 %, общий азот 689 мг/кг, подвижный фосфор и калий 332 и 239 мг/кг, соответственно; сильноэродированная почва –  $pH_{KCl}$  5,25, гумус 1,15 %, общий азот 661 мг/кг, подвижный фосфор и калий 327 и 225 мг/кг соответственно.

Возделывали яровой рапс на семена сорта Прамень. Фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные удобрения (калий хлористый) вносили перед посевом, азотные удобрения (карбамид) – перед посевом и в подкормку в фазу растягивания растений. Схема опыта предусматривала изучение доз азотных удобрений на почвах разной эродированности. В вариантах 2 дозы азота дифференцированы для незэродированной и эродированных почв от 100 до 130 кг/га действующего вещества, в вариантах 3 применяли среднюю дозу азота 110 кг/га независимо от эродированности почвы (таблица 1).

Таблиця 1 – Схема полевого опыта

Эродированность почвы	Варианты опыта	Дозы и сроки применения удобрений
Неэродированная	1	$P_{30}K_{60}$ – фон
	2	Фон + $N_{100}$ (80 перед посевом + 20 в фазу растягивания растений)
	3	Фон + $N_{110}$ (90 перед посевом + 20 в фазу растягивания растений)
Среднеэродированная	1	$P_{30}K_{60}$ – фон
	2	Фон + $N_{120}$ (90 перед посевом + 30 в фазу растягивания растений)
	3	Фон + $N_{110}$ (90 перед посевом + 20 в фазу растягивания растений)
Сильноэродированная	1	$P_{30}K_{60}$ – фон
	2	Фон + $N_{130}$ (90 перед посевом + 40 в фазу растягивания растений)
	3	Фон + $N_{110}$ (90 перед посевом + 20 в фазу растягивания растений)

Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Агрохимические показатели почв определяли: гумус по ГОСТ 26212–91 [10];  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [11]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [12], общий азот – по ГОСТ 26107-84 [13].

Хозяйственный ( $B_x$ ) и удельный вынос ( $B_n$  азота рассчитывали по формулам 1 и 2 [14]:

$$B_x = Y_{co} \times C_o + Y_{cn} \times C_n \quad (1)$$

$$B_n = B_x \times 10 / Y_{ct} \quad (2)$$

где  $Y_{co}$  и  $Y_{cn}$  – урожайность сухого вещества основной и побочной продукции, т/га;  $C_o$  и  $C_n$  – содержание элемента питания в сухом веществе основной и побочной продукции, %,  $Y_{ct}$  – урожайность основной продукции, т/га.

Баланс азота в почве определяли по принятой методике [16] (формула 3):

$$B_N = (P_{my} + P_o + P_c + P_n) - (P_{вын} + P_{выщ} + P_{эр} + P_z) \quad (3)$$

где  $B_N$  – баланс азота, кг/га,  $P_{my}$  – приход азота с минеральными удобрениями,  $P_o$  – поступление азота с осадками,  $P_c$  – приход азота с семенами,  $P_n$  – поступление азота

с несимбиотической фиксацией,  $P_{вын}$  – вынос азота с урожаем сельскохозяйственных культур,  $P_{выщ}$  – потери азота при выщелачивании,  $P_{эр}$  – потери азота с эрозией почв,  $P_z$  – газообразные потери азота.

**Результаты и обсуждение.** За годы исследований метеорологические условия вегетационных периодов различались. По степени увлажнения 2012 г. характеризовался избыточным увлажнением с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 2,04, а 2013 и 2014 гг. – хорошей увлажненностью с ГТК 1,52 и 1,50 соответственно.

Анализ содержания азота в растениях ярового рапса и динамики формирования надземной биомассы в онтогенезе показал, что основная часть азота потребляется яровым рапсом в период от всходов до фазы цветения. В фазу созревания наблюдается снижение потребления растениями данного макроэлемента. Так, на незэродированной почве в фазу стеблевания величина потребления азота в варианте  $P_{30}K_{60}$  составила 3,64 г/м<sup>2</sup>, в фазу цветения – 8,42 г/м<sup>2</sup>. К фазе созревания наблюдалось снижение поглощения азота, которое составило 7,90 г/м<sup>2</sup> (рисунок 1).

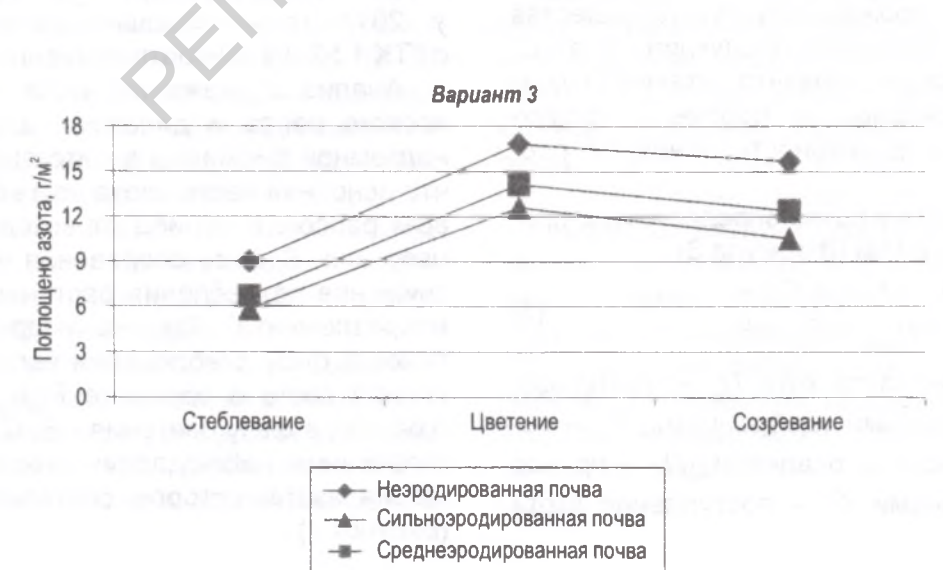
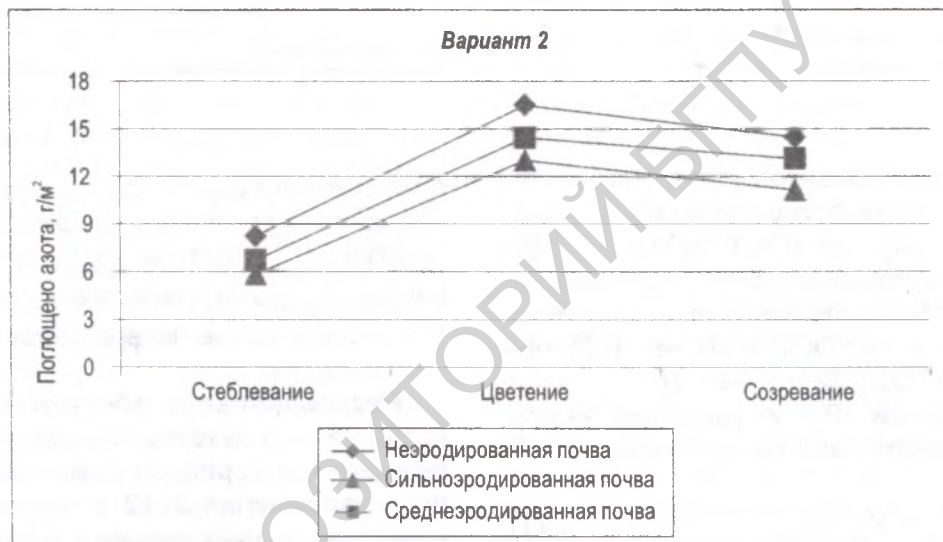
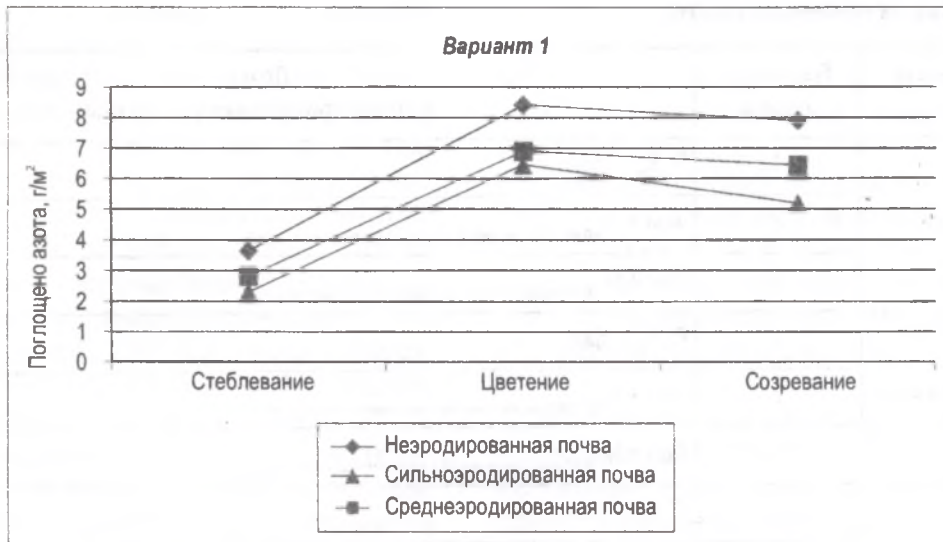


Рисунок 1 – Динамика потребления азота растениями ярового рапса по фазам их роста и развития



На эродированных почвах проявлялись те же закономерности в динамике потребления азота яровым рапсом, как и на незэродированной почве – основная часть его поглощалась растениями от всходов до фазы цветения. Однако вынос азота с надземной биомассой на этих почвах по всем фазам роста и развития был ниже по сравнению с незэродированной почвой. Так, на фоне  $P_{30}K_{60}$  величина выноса азота на средне- и сильносмытой почвах составила соответственно в фазу стеблевания 2,83 и 2,31 г/м<sup>2</sup>, в фазу цветения – 6,91 и 6,47 и в фазу созревания – 6,45 и 5,20 г/м<sup>2</sup>. В целом на средне-смытой почве по сравнению с несмытой она была ниже по фазам роста и развития растений на 18–22 % (в среднем на 20 %), на сильносмытой почве – на 23–36 % (в среднем на 30 %).

Азотные удобрения способствовали существенному увеличению выноса азота с надземной биомассой ярового рапса. Так, применение перед посевом рапса на незэродированной почве  $N_{80}$ , а на средне- и сильноэродированных почвах по  $N_{90}$  (вариант 2) повысило по отношению к фосфорно-калийному фону величину потребления азота растениями в фазу стеблевания в 2,3–2,5 раза.

Следует отметить, что доза предпосевного внесения азотных удобрений на эродированных почвах была выше на 10 кг/га по сравнению с незэродированной почвой, однако вынос элемента с надземной биомассой на этих почвах был ниже в среднем на 20–30 %. Это обусловлено более высоким плодородием почвы, не подверженной водной эрозии, и содержанием в ней минеральных соединений азота.

В варианте 3, где в основное внесение доза азотных удобрений составляла 90 кг/га на всех по степени эродированности почвах, вынос растениями азота в фазу стеблевания на средне- и сильноэродированной почвах был ниже по отношению к незэродированной соответственно на 26 и 35 %.

Азотные подкормки посевов ярового рапса в фазу растягивания растений в дозах на незэродированной почве  $N_{20}$ , на среднеэродированной почве  $N_{20-30}$  и на сильноэродированной почве  $N_{20-40}$  способствовало существенному повышению выноса азота в фазу цветения.

Показателями, характеризующими режим азотного питания растений, агрономическую и экологическую целесообразность

применения азотных удобрений, являются: биологический и удельный вынос азота с урожаем основной и побочной продукции или величина потребления (поглощения) азота; коэффициент использования азота удобрений ( $KI_{уд}$ ).

Величина относительного участия азота почвы и удобрений в выносе этого элемента урожаем сельскохозяйственных культур существенно зависит от ряда факторов. Принято считать, что чем выше окультуренность почвы, тем долевое участие азота удобрений в общем выносе азота урожаем снижается [4; 15]. Доля азота почвы в выносе элемента с урожаем обычно выше, чем из удобрений, и может достигать 84–85 % [16].

Полученные данные свидетельствуют о преимущественном значении почвенного азота в питании растений и формировании урожая ярового рапса. В целом в выносе азота урожаем основной и побочной продукции азот удобрений ( $N_{уд}$ ) занимал от 29 до 43 %, почвенный азот – от 57 до 71 % (таблица 2).

На незэродированной почве удельный вес азота удобрений составлял 29–31 %, почвенного азота – 69–71 %. С увеличением эродированности почвы возрастала роль азота удобрений в питании растений и формировании урожая. Так, на средне- и сильноэродированной почвах доля его в общем выносе с основной и побочной продукцией составила соответственно 36 и 43 %.

Исследования с мечеными изотопом <sup>15</sup>N азотными удобрениями показали, что коэффициент использования азота удобрениями сельскохозяйственными культурами на разных почвах колеблется от 12 до 70 % [17]. При обобщении результатов 289 опытов установлено, что этот показатель составляет в среднем 43 % [18]. К числу причин, снижающих коэффициент использования азота удобрениями, можно отнести: внесение азотных удобрений в дозах, несоответствующих физиологической потребности растений в азоте; высокую растворимость и быстрое превращение в почве выпускаемых форм азотных удобрений, приводящих к потерям и уменьшению запасов соединений азота в почве.

На величину коэффициента использования азота значительное влияние оказывают дозы и сроки внесения азотных удобрений. При дробном внесении азота под зерновые культуры коэффициент его использования увеличивается на 3–21 % по сравнению с разовым применением [19–21].

**Таблица 2 – Потребление азота почвы и удобрений яровым рапсом в зависимости от доз азотных удобрений и эродированности почвы (в среднем за 2012–2014 гг.)**

Варианты опыта	Всего, кг/га	В том числе азот, кг/га		N <sub>уд</sub> в общем выносе, %	КИ <sub>уд</sub> , %
		почвы	удобрений		
Неэродированная почва					
1. P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	79,0	79,0	-	-	-
2. N <sub>100</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	144,8	99,6	45,2	31	45
3. N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	156,7	111,8	44,9	29	41
Среднеэродированная почва					
1. P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	64,5	64,5	-	-	-
2. N <sub>120</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	131,3	83,7	47,6	36	40
3. N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	123,8	78,8	45,0	36	41
Сильноэродированная почва					
1. P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	52,0	52,0	-	-	-
2. N <sub>130</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	111,6	63,3	48,3	43	37
3. N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	105,3	60,3	45,0	43	41

В наших исследованиях коэффициент использования азота зависел от доз азотных удобрений, а эродированность почвы не оказала влияния на данный показатель. Так, в варианте 3, где на всех по степени смытости почвах вносили одинаковую дозу азота (N<sub>110</sub>), КИ<sub>уд</sub> составил 41 %. В варианте 2 с дифференцированным по склону применением удобрений наблюдалось снижение коэффициента использования азота с 45 % при дозе N<sub>100</sub> на неэродированной почве до 37 % при дозе N<sub>130</sub> на сильноэродированной почве.

Поскольку долевое участие азотных удобрений в формировании урожая основной и побочной продукции ниже, чем почвенного азота, то возникает вопрос: каким образом они способствуют существенному росту продуктивности сельскохозяйственных культур? Установлено, что азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы. В зерне может концентрироваться от 68 до 72 % всего поглощенного растениями азота удобрений, а в отдельные годы до 85 % общего выноса <sup>15</sup>N.

Установлено, что в общем выносе азота с основной (семена) и побочной (солома) продукцией ярового рапса с семенами его потребляется от 76 до 87 %. Соотношение азота в семенах и соломе зависело от применения азотных удобрений, а эродированность почвы не оказала существенного влияния на этот показатель. Наблюдалась толь-

ко тенденция увеличения удельного веса азота в семенах с повышением степени смытости почвы. В вариантах P<sub>30</sub>K<sub>60</sub> вынос азота с основной продукцией составлял 84–87 %, а вариантах с применением азотных удобрений – 76–78 % (таблица 3).

Удельный вынос азота с 1 тонной продукции (В<sub>н</sub>) ярового рапса изменялся по вариантам опыта и эродированности почвы. С увеличением степени смытости почвы он снижался. Так, в варианте P<sub>30</sub>K<sub>60</sub> на несмытой почве В<sub>н</sub> составил 36,9 кг/т, на среднесмытой почве – 34,9 и на сильносмытой почве – 32,5 кг/т. При внесении азотных удобрений величина удельного выноса азота возрастала и колебалась в пределах 45,8–46,1 кг/т на неэродированной почве и 42,8–44,2 кг/т – на сильноэродированной почве.

Важной характеристикой эффективности использования удобрений является оценка состояния баланса элементов питания в системе почва – растение – удобрение. Показатели баланса отражают пути превращения и расхода элементов минерального питания растений. В практике наиболее широко применяется хозяйственный баланс, который определяется по валовому поступлению и отчуждению элементов питания.

В наших исследованиях в структуре баланса основная часть поступления азота в почву приходилась на азотные удобрения



( $P_{\text{мү}}$ ) – 100–130 кг/га или 73–79 % (таблица 4). Поступление азота с атмосферными осадками ( $P_0$ ) по многолетним данным, составляет 9,4 кг/га, с семенами ( $P_c$ ) – 3,0 кг/га.

Для дерново-подзолистых почв средний норматив несимбиотической азотфиксации ( $P_n$ ) 15 кг/га [22].

**Таблица 3 – Вынос азота с основной и побочной продукцией ярового рапса в зависимости от доз азотных удобрений на почвах разной эродированности (в среднем за 2012–2014 гг.)**

Варианты опыта	Общий вынос, кг/га	В том числе, кг/га		Азот в семенах, % от общего выноса	$V_n$ , кг/т продукции
		семенами	соломой		
Неэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	79,0	66,5	12,5	84	36,9
2. $N_{100}P_{30}K_{60}$	144,8	112,6	32,1	78	45,8
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	156,7	121,1	35,6	77	46,1
Среднеэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	64,5	55,0	9,5	85	34,9
2. $N_{120}P_{30}K_{60}$	131,3	100,0	31,4	76	44,4
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	123,8	95,7	28,1	77	44,8
Сильноэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	52,0	45,4	6,6	87	32,5
2. $N_{130}P_{30}K_{60}$	111,6	86,8	24,8	78	42,8
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	105,3	82,1	23,2	78	44,2

**Таблица 4 – Структура баланса азота в системе почва – растение при возделывании ярового рапса (в среднем за 2012–2014 гг.)**

Варианты опыта	Приход азота, кг/га		Расход азота, кг/га	
	$P_{\text{мү}}$	$P_0 + P_c + P_n$	$P_{\text{вын}}$	$P_{\text{выщ}} + P_{\text{эр}} + P_{\text{г}}$
Неэродированная почва				
1. $P_{30}K_{60}$	0	27,4	79,0	16,0
2. $N_{100}P_{30}K_{60}$	100	27,4	144,8	41,0
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	110	27,4	156,7	43,5
Среднеэродированная почва				
1. $P_{30}K_{60}$	0	27,4	64,5	26,0
2. $N_{120}P_{30}K_{60}$	120	27,4	131,3	56,0
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	110	27,4	123,8	53,5
Сильноэродированная почва				
1. $P_{30}K_{60}$	0	27,4	52,0	31,0
2. $N_{130}P_{30}K_{60}$	130	27,4	111,6	63,5
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	110	27,4	105,3	58,5

Главной расходной статьей баланса азота является вынос его с урожаем основной и побочной продукции ( $P_{\text{вын}}$ ), удельный вес которой колеблется от 62 до 83 %. При выщелачивании ( $P_{\text{выщ}}$ ) теряется в среднем 16 кг/га, потери с эрозией ( $P_{\text{эр}}$ ) на среднеэродированных почвах 10 кг/га, на сильноэродированных почвах 15 кг/га. Газообразные потери азота ( $P_r$ ) составляют 25 % от внесенной дозы азота.

Результаты расчета баланса азота при возделывании ярового рапса на почвах разной эродированности показали, что в почвах складывался отрицательный баланс элемента. Наиболее высокий дефицит азота отмечался в вариантах, где вносили только фосфорные и калийные удобрения. Интенсивность баланса (отношение прихода элемента к его расходу, выраженное в процентах) составила всего 29–33 %. Применение азотных удобрений в дозе  $N_{110}$  способствовало, особенно на эродированных почвах, значительному снижению дефицита азота и повышению интенсивности его баланса. На среднеэродированной почве увеличение дозы до 120 кг/га практически не изменило баланс элемента, тогда как на сильноэродированной почве применение дозы 130 кг/га привело к заметному улучшению обеспеченности в азоте и повышению интенсивности баланса до 90 % (таблица 5).

Одним из показателей оценки обеспеченности растений в элементах минерального питания является балансовый коэффициент (коэффициент выноса), представляющий отношение выноса (кг/га) элементов питания растениями к их внесению (кг/га) с удобрениями, выраженное в процентах.

Наиболее высокие значения балансового коэффициента получены на неэродированной почве – 142–145 %, то есть вынос азота с урожаем превышал поступление с азотными удобрениями на 42–45 %. На среднеэродированной почве этот показатель составил 109–112 %. На сильноэродированной почве вынос элемента с урожаем был на 4–14 % ниже, чем дозы азотных удобрений.

Формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия проводится для определенных агроэкологических типов и групп земель, характеризующихся однородными условиями для возделывания культуры или групп культур. В свою очередь построение агроэкологических типов и групп земель осуществляется из первичных элементов агроландшафта. В качестве первичного элемента агроландшафта рассматривается элементарный ареал агроландшафта, под которым понимается земельный участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом или элементарной почвенной структурой [17].

Таблица 5 – Баланс азота в системе почва – растение при возделывании ярового рапса (в среднем за 2012–2014 гг.)

Варианты опыта	Приход, кг/га	Расход, кг/га	Баланс, кг/га	Интенсивность баланса, %	Балансовый коэффициент, %
Неэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	27,4	95,0	- 67,6	29	-
2. $N_{100}P_{30}K_{60}$	127,4	185,8	- 58,4	69	145
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	137,4	200,2	- 62,8	69	142
Среднеэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	27,4	90,5	- 63,1	30	-
2. $N_{120}P_{30}K_{60}$	147,4	187,3	- 39,9	79	109
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	137,4	177,3	- 39,9	77	112
Сильноэродированная почва					
1. $P_{30}K_{60}$	27,4	83,0	- 55,6	33	-
2. $N_{130}P_{30}K_{60}$	157,4	175,1	- 17,7	90	86
3. $N_{110}P_{30}K_{60}$	137,4	163,8	- 26,4	84	96



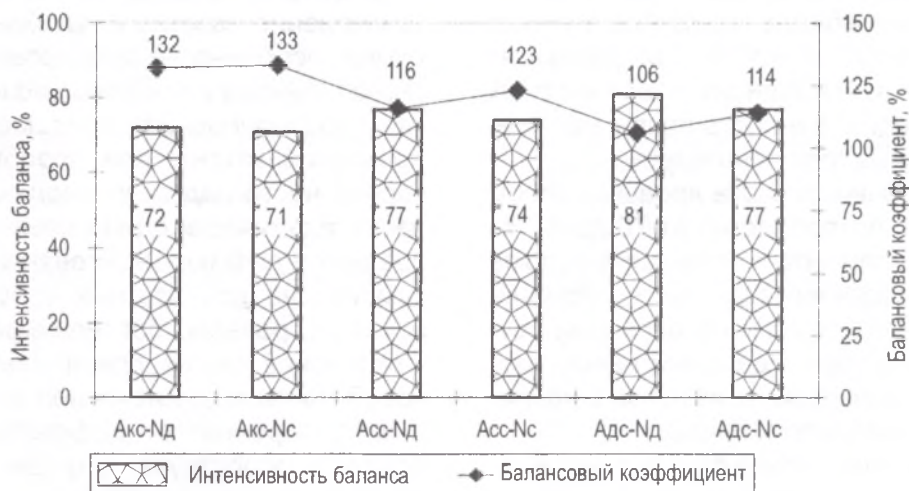


Рисунок 2 – Интенсивность баланса азота и балансовые коэффициенты при внесении азотных удобрений под яровой рапс в системе почвенно-эрозионной катены: Акс, Асс и Адс – соответственно агроландшафты с преобладанием плакорной части над склоновой, равным соотношением плакорной и склоновой частей, с преобладанием склоновой части над плакорной; Nd и Нс – соответственно азотные удобрения применяли в дифференцированных и средних дозах по элементам эрозионного агроландшафта

Почвенные катены в условиях эрозионных агроландшафтов могут иметь различные соотношения площадей почв разной степени смывости в зависимости от крутизны, длины и экспозиции склона. Поэтому в производственных условиях представляется технологически сложным внесение удобрений под сельскохозяйственную культуру, дифференцируя их дозы по элементам рельефа, то есть по степени смывости почвы.

На основе экспериментальных данных, полученных на разных частях склонового агроландшафта (на плакоре, в верхней, средней и нижней частях склона), определены средневзвешенные значения баланса азота при внесении азотных удобрений по всей почвенной катене. Условно были приняты земельные массивы (поля, рабочие участки), представленные короткими склонами с преобладанием плакорной части над склоновой (соотношение плакора к склоновой части 75 % : 25 %), со средней длиной склона (соотношение плакора к склоновой части 50 % : 50 %) и с длинными склонами при преобладании склоновой части (соотношение плакора к склоновой части 25 % : 75 %). На рисунке 2 приведены результаты определения интенсивности баланса азота и балансовые коэффициенты.

Установлено, что в эрозионном агроландшафте с дерново-подзолистыми легкоуглинистыми почвами в системе почвенной катены при преобладании плакорной части

над склоновой частью интенсивность баланса азота и балансовые коэффициенты практически не различаются при внесении средних и дифференцированных по элементам склона доз азотных удобрений.

В эрозионных ландшафтных массивах при равном соотношении плакорной и склоновой частей, а также при преобладании склоновой части над плакорной внесение азотных удобрений в дозах, дифференцированных в зависимости от эродированности почвы, способствовало более благоприятным условиям азотного питания растений и снижению дефицита элемента по сравнению с применением их в средней рекомендуемой дозе ( $N_{110}$ ) по всему склону. Балансовые коэффициенты были ниже на 7–8 %.

**Заклучение.** Результаты исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Основная часть азота потребляется яровым рапсом в период от всходов до фазы цветения. Вынос его с надземной биомассой на средне- и сильноэродированной почвах ниже по сравнению с незэродированной почвой в среднем на 20 и 30 % соответственно.

2. В выносе азота урожаем основной и побочной продукции азот удобрений занимает от 29 до 43 %, почвенный азот – от 57 до 71 %. С увеличением эродированности почвы возрастает роль азота удобрений в питании растений и формировании

урожаю. На средне- и сильноэродированной почве доля его в общем выносе составляет соответственно 36 и 43 %. Коэффициент использования азота зависит от доз азотных удобрений, эродированность почвы несущественно влияет на этот показатель.

3. В общем выносе азота яровым рапсом с семенами его потребляется от 76 до 87 %. Соотношение элемента в семенах и соломе зависит от применения азотных удобрений, а эродированность почвы не оказывает существенного влияния. Удельный вынос азота с 1 тонной продукции снижается с увеличением эродированности почвы.

4. При внесении только фосфорных и калийных удобрений отмечается высокий дефицит азота в питании ярового рапса – ин-

тенсивность баланса составляет 29–33 %. Применение азотных удобрений способствует, особенно на эродированных почвах, значительному снижению дефицита элемента. В эрозионном агроландшафте в системе почвенной катены при преобладании плакорной части над склоновой частью баланс азота практически одинаковый при внесении средних и дифференцированных по элементам склона доз азотных удобрений, тогда как при равном соотношении плакорной и склоновой частей, при преобладании склоновой части над плакорной внесение азотных удобрений в дифференцированных дозах способствует улучшению условий азотного питания растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии / В. В. Жилко [и др.] // *Агрохимия*. – 1999. – № 10. – С. 41–46.
3. Жукова, И. И. Развитие эрозионных процессов на дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почвах Центральной провинции Беларуси при возделывании различных сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / И. И. Жукова ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – 18 с.
4. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий. – Минск : Хата, 1997. – 196 с.
5. Жилко, В. В. Особенности применения удобрений на эродированных почвах / В. В. Жилко, О. В. Чистик, К. И. Довбан. – Минск, 1990. – 36 с.
6. Чистик, О. В. Агрохимические свойства дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почв и особенности применения удобрений : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / О. В. Чистик ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1992. – 458 л.
7. Явтушенко, В. Е. Агроэкологическое обоснование систем удобрения на почвах склонов : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04. – М., 1991. – 442 л.
8. Каштанов, А. Н. Агроэкология почв склонов / А. Н. Каштанов, В. Е. Евтушенко. – М. : Колос, 1997. – С. 29–153
9. Рекомендации по применению удобрений на эродированных почвах в почвозащитных севооборотах. – М., 1986. – 81 с.
10. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26213-91. – Введ. 07.01.93. – Минск : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
11. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО : ГОСТ 26483-85. – Введ. 07.01.86. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

#### REFERENCES

1. Pochvy selskokhozyaystvennykh zemel Respubliki Belarus : prakt. posobiye / pod red. G. I. Kuznetsova, N. I. Smeyana. – Minsk : Orgstroy, 2001. – 432 s.
2. Poteri gumusa i makroelementov, vyzyvayemyye vodnoy eroziyey, iz derno-palevo-podzolistykh pochv Belorussii / V. V. Zhilko [i dr.] // *Agrokhimiya*. – 1999. – № 10. – S. 41–46.
3. Zhukova, I. I. Razvitiye erozionnykh protsessov na derno-podzolistykh pylevatosugiinistykh pochvakh Tsentralnoy provintsii Belarusi pri vzdelyvanii razlichnykh selskokhozyaystvennykh kultur : avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.01.03 / I. I. Zhukova ; In-t pochvovedeniya i agrokhimii. – Minsk, 2001. – 18 s.
4. Semenenko, N. N. Azot v zemledelii Belarusi / N. N. Semenenko, N. V. Nevmerzhitskiy. – Minsk : Khata, 1997. – 196 s.
5. Zhilko, V. V. Osobennosti primeneniya udobreniy na erodirovannykh pochvakh / V. V. Zhilko, O. V. Chistik, K. I. Dovban. – Minsk, 1990. – 36 s.
6. Chistik, O. V. Agrokhimicheskiye svoystva derno-podzolistykh pylevato-suglinistykh pochv i osobennosti primeneniya udobreniy : dis. ... d-ra s.-kh. nauk : 06.01.04 / O. V. Chistik ; In-t pochvovedeniya i agrokhimii. – Minsk, 1992. – 458 l.
7. Yavtushenko, V. Ye. Agroekologicheskoye obosnovaniye sistem udobreniya na pochvakh sklonov : dis. ... d-ra s.-kh. nauk : 06.01.04. – M., 1991. – 442 l.
8. Kashtanov, A. N. Agroekologiya pochv sklonov / A. N. Kashtanov, V. Ye. Yevtushenko. – M. : Kolos, 1997. – S. 29–153
9. Rekomendatsii po primeneniyu udobreniy na erodirovannykh pochvakh v pochvozashchitnykh sevooborotakh. – M., 1986. – 81 s.
10. Pochvy. Opredeleniye organicheskogo veshchestva v modifikatsii TSINAO : GOST 26213-91. – Vved. 07.01.93. – Minsk : Izd-vo standartov, 1992. – 6 s.
11. Pochvy. Prigotovleniye solevoy vytyazhki i opredeleniye pH po metodu TSINAO : GOST 26483-85. – Vved. 07.01.86. – Minsk : Belorus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 1987. – 4 s.



12. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26207-91. – Введ. 07.01.93. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
13. Почвы. Методы определения общего азота : ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
14. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; ред. В. В. Лапа. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 390 с.
15. Bowen, G. D. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants / G. C. Bowen, F. Zapata // Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. – Vienna : IAE, 1991. – P. 349–362.
16. Цыбулько, Н. Н. Использование зерновыми культурами азота почвы и удобрений / Н. Н. Цыбулько, Д. В. Киселева, И. И. Жукова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2008. – № 2. – С. 36–41.
17. Семенов, В. М. Слагаемые эффективности азотных удобрений в системе почва – растение и критерии их количественной оценки / В. М. Семенов // Агрохимия. – 1999. – № 5. – С. 25–32.
18. Hauck, R. D. Nitrogen fertilizers effects on nitrogen cycle processes / R. D. Hauck // Terrestrial nitrogen cycles: Ecol. Bull. Stockholm. – 1981. – № 33. – P. 551–562.
19. Кудеяров, В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров. – М. : Наука, 1989. – 215 с.
20. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск : Хата, 2003. – 164 с.
21. Цыбулько, Н. Н. Баланс азота удобрений в системе почва – растение под зерновыми культурами на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н. Н. Цыбулько, Д. В. Киселева // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2 (41). – С. 145–155.
22. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. – 26 с.
12. Pochvy. Opredeleniye podvizhnykh soyedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TSINAO : GOST 26207-91. – Vved. 07.01.93. – Minsk : Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 1992. – 6 s.
13. Pochvy. Metody opredeleniya obshchego azota : GOST 26107-84. – Vved. 07.01.85. – Minsk : Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 1985. – 6 s.
14. Spravochnik agrokhemika / V. V. Lapa [i dr.] ; red. V. V. Lapa. – Minsk : Belarus. nauka, 2007. – 390 s.
15. Bowen, G. D. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants / G. C. Bowen, F. Zapata // Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. – Vienna : IAE, 1991. – P. 349–362.
16. Tsybul'ko, N. N. Ispolzovaniye zernovymi kulturami azota pochvy i udobreniy / N. N. Tsybul'ko, D. V. Kiseleva, I. I. Zhukova // Ves. Nats. akad. navuk Belarusi. Ser. agrar. navuk. – 2008. – № 2. – S. 36–41.
17. Semyonov, V. M. Slagayemyye effektivnosti azotnykh udobreniy v sisteme pochva – rasteniye i kriterii ikh kolichestvennoy otsenki / V. M. Semyonov // Agrokhemiya. – 1999. – № 5. – S. 25–32.
18. Hauck, R. D. Nitrogen fertilizers effects on nitrogen cycle processes / R. D. Hauck // Terrestrial nitrogen cycles: Ecol. Bull. Stockholm. – 1981. – № 33. – P. 551–562.
19. Kudeyarov, V. N. Tsikl azota v pochve i effektivnost udobreniy / V. N. Kudeyarov. – M. : Nauka, 1989. – 215 s.
20. Semenenko, N. N. Adaptivnyye sistemy primeneniya azotnykh udobreniy / N. N. Semenenko. – Minsk : Khata, 2003. – 164 s.
21. Tsybul'ko, N. N. Balans azota udobreniy v sisteme pochva – rasteniye pod zernovymi kulturami na dernovo-podzolistoy supeschanoy pochve / N. N. Tsybul'ko, D. V. Kiseleva // Pochvovedeniye i agrokhemiya. – 2010. – № 2 (41). – S. 145–155.
22. Metodika rascheta elementov pitaniya v zemledelii Respubliki Belarus / V. V. Lapa [i dr.]. – Minsk : In-t pochvovedeniya i agrokhemii, 2007. – 26 s.