

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

УДК 631.582:631.82:631.86:631.811

Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах

© 2022. Л. М. Козлова✉, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Исследования проводили в Кировской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в длительном стационарном опыте, заложенном в 1976 г. В статье приведены данные (2010-2017 гг.) по четырем парозернотравным севооборотам с различными видами паров, однолетними и многолетними бобовыми травами (25-50 %), промежуточными культурами (12,5-37,5 %). Цель исследований – сравнить влияние некоторых приемов биологизации в восьмипольных полевых севооборотах на изменение почвенного плодородия и баланс элементов питания дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлено, что внесение низких доз минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) и различных видов сидеральных культур за ротацию увеличивало в пахотном слое почвы содержание подвижного фосфора (на 39-46 мг/кг). По группировке обеспеченности почв фосфором содержание этого элемента перешло в группу «высокая обеспеченность». Содержание обменного калия в почве осталось в группе обеспеченности «повышенная». В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов с минеральными удобрениями и корнеотпрысковыми остатками баланс азота, фосфора и калия создавался отрицательным при интенсивности его ниже 100 %. Замена чистого пара на занятый и сидеральные, а также введение в структуру севооборота промежуточных крестоцветных культур способствовало обеспечению положительного баланса азота (250,2-484,3 кг/га) с интенсивностью 124-150 %. Используемые факторы биологизации в севооборотах благоприятствовали созданию положительного баланса фосфора (12,5-148,1 кг/га) с оптимальной интенсивностью 117-163 % и положительного баланса калия (128,9-395,8 кг/га) при интенсивности выше оптимального значения 116-148 %. Наиболее выгодным по продуктивности и обеспечению положительного баланса элементов питания является севооборот с двумя сидеральными парами и посевом в трех полях пожнивных и поукосных крестоцветных культур.

Ключевые слова: плодородие, сидеральные пары, промежуточные культуры, корнеотпрысковые остатки, баланс азота, фосфора, калия, интенсивность баланса

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2014-0025).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):527-537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

Поступила: 16.05.2022

Принята к публикации: 22.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations

© 2022. Lyudmila M. Kozlova✉, Fyodor A. Popov, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The studies were carried out in the Kirov region on sod-podzolic sandy loam soil in a long-time stationary experiment established in 1976. The article provides data (2010-2017) on four fallow-grain-grass crop rotations with various types of fallows, annual and perennial legumes (25-50 %), intercrops (12.5-37.5 %). The purpose of the studies is to compare the influence of some biologization techniques in eight-field crop rotations on the change in soil fertility and the balance of nutritional elements of sod-podzolic sandy loam soil. It is found that the application of low doses of mineral fertilizers ($N_{30}P_{30}K_{30}$) and various types of green manure crops per rotation has significantly increased the content of mobile phosphorus in the arable soil layer (by 39-46 mg/kg). According to grouping the provision of soils with phosphorus, the content of this element passed into the «high provision» group. The content of exchangeable potassium in the soil remained in the «increased» provision group. In the control crop rotation with clean fallow at a minimum supply of nutrients with mineral fertilizers and root-stubble residues, the balance of nitrogen, phosphorus and potassium was created negative at the intensity of less than 100 %.

The replacement of clean fallow for cropped and green manure fallows, as well as the introduction of intermediate cruciferous crops into the crop rotation structure contributed to the positive balance of nitrogen (250.2-484.3 kg/ha) with the intensity of 124-150 %. The biologization factors used in crop rotations favored the creation of a positive phosphorus balance (12.5-148.1 kg/ha) with the optimal intensity of 117-163 % and a positive potassium balance (128.9-395.8 kg/ha) with the intensity above the optimal value of 116-148 %. The most advantageous in terms of productivity and ensuring a positive balance of nutritional elements is crop rotation with two green manure fallows and sowing of stubble and hay cruciferous crops in three fields.

Keywords: fertility; green manure fallows; intercrops; root-stubble residues; balance of nitrogen, phosphorus, potassium; balance intensity

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, (theme No. 0767-2014-0025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):527-537. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

Received: 16.05.2022

Accepted for publication: 22.07.2022

Published online: 25.08.2022

В сложных экономических условиях, когда использование минеральных и органических удобрений крайне ограничено, сократилось применение других средств интенсификации земледелия, необходимо максимально использовать преимущества плодосмена — научно обоснованного чередования культур, предусматривающего наиболее полную реализацию адаптивно-биологического потенциала сельскохозяйственных культур, плодородия и агроэкологического ресурса почвы [1].

В рамках плодосмена вопросы воспроизводства плодородия почв и повышения устойчивости агрофитоценозов решаются, прежде всего, как вопросы биологизации и экологизации земледелия через расширение посевов многолетних и однолетних бобовых трав, зернобобовых смесей, пожнивных, поукосных и сидеральных культур, запашку корнеостерневых остатков, отавы многолетних трав и других приемов [2, 3].

В России в 2018 году принят Федеральный закон об органическом сельском хозяйстве (№ 280 ФЗ). Этот закон предполагает, что в технологиях возделывания культур будут широко использоваться все приемы биологизации. Данные приемы включают, в первую очередь, создание оптимальной структуры посевных площадей, введение севооборотов с максимальным насыщением различными видами органических удобрений (включая сидеральные, промежуточные посевы), применение биологических и ростостимулирующих препаратов [4, 5, 6, 7].

Биологически и экономически оправданная концепция земледелия в любых почвенно-климатических условиях должна основываться на возделывании наиболее соответ-

ствующим по биологическим особенностям культур, пользующихся спросом на рынке с учетом их влияния на плодородие почвы и состояние агрофитоценозов [8].

Однако развитие органического экологически чистого земледелия на бедных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны может вызвать проблемы воспроизводства плодородия почвы, основой которого является обеспечение бездефицитного баланса питательных элементов [9, 10].

Основная часть урожая сельскохозяйственных культур в современном земледелии создается за счет почвенного плодородия при недостаточной компенсации выносимых с урожаем элементов питания. Вынос питательных веществ с урожаем в целом по России составляет около 10,8 млн т, что в 2,4 раза превышает уровень их возврата с растительными остатками и различными видами удобрений [11].

С 1991 по 2015 год в земледелии России дефицит NPK составил 144,5 млн т, это значит, что существенная часть урожая формировалась за счет запасов почвы. Баланс питательных элементов за эти годы складывался с отрицательными показателями: по азоту 56,3 млн т, фосфору 12,3 и калию 75,9 млн т [12]. В условиях биологической интенсификации принцип разработки системы удобрения основывается на максимально полном использовании ресурсов различных видов органических удобрений, но при этом обязательно применение минеральных удобрений, если в почву поступает недостаточное количество питательных элементов для получения планируемой урожайности и обеспечения положительного баланса азота, фосфора и калия [13].

Критерием экологической безопасности системы удобрения, ее влияния на почвенное плодородие является баланс основных элементов питания¹. Интенсивность баланса, то есть количественное соотношение прихода и расхода с единицы площади за определенный промежуток времени должно быть по азоту 100-110 %, фосфору 150-200 % и калию 100 % [14].

Цель исследований – сравнить влияние некоторых приемов биологизации в восьмипольных полевых севооборотах на изменение почвенного плодородия и баланс элементов питания дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Научная новизна заключается в том, что при широком внедрении приемов биологи-

зации оценка состояния баланса элементов питания позволит эффективнее использовать различные виды удобрений для стабилизации почвенного плодородия и снижения возникновения рисков экологических проблем.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Опыт заложен в 1976 году на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока. На рассмотрение взяты четыре парозернотравяных восьмипольных севооборота с чистым, занятым и сидеральными парами (2010-2017 гг.).

Схемы севооборотов

I (контроль)

1. Пар чистый.
2. Озимая рожь.
3. Ячмень с подсевом клевера и тимофеевки.
4. Клевер + тимофеевка 1 г. п.
5. Клевер + тимофеевка 2 г. п.
6. Яровая пшеница.
7. Горох + яровая пшеница + овес (зернофураж).
8. Овес.

II

1. Пар занятый (редька масличная + вика + овес).
2. Озимая рожь + *горчица белая (пожнивно)*.
3. Ячмень.
4. Пелюшка + яровая пшеница + овес (зернофураж) с подсевом клевера.
5. Клевер 1 г. п.
6. Клевер 2 г. п.
7. Яровая пшеница.
8. Овес.

III

1. Пар сидеральный (люпин).
2. Озимая рожь + *редька масличная (пожнивно)*.
3. Ячмень с подсевом клевера и тимофеевки.
4. Клевер + тимофеевка 1 г. п.
5. Клевер + тимофеевка 2 г. п.
6. Яровая пшеница.
7. Горох + яровая пшеница + овес (зерносенаж) + *рапс яровой (поукосно)*.
8. Овес.

IV

1. Пар сидеральный (клевер).
2. Озимая рожь + *рапс яровой (пожнивно)*.
3. Ячмень.
4. Вика + яровая пшеница + овес (зерносенаж) + *редька масличная (поукосно)*.
5. Пар сидеральный (редька масличная + овес + пелюшка).
6. Озимая рожь + озимая вика (зеленый корм) + *горчица белая (поукосно)*.
7. Яровая пшеница.
8. Овес с подсевом клевера.

За контроль принят севооборот с чистым паром без внесения органических удобрений и посева промежуточных культур. После уборки озимой ржи на зерно и зерносмесей на зеленый корм и сенаж высевали промежуточные пожнивные и поукосные культуры (редьку масличную, горчицу белую, рапс яровой), которые использовали на сидеральные цели. Промежуточные культуры занимали в структуре севооборотов от 12,5 до 37,5 %. Многолетние травы использовали на зеленый корм, в севооборотах № 2 и № 3 их отаву запахивали на сидеральные цели.

Севообороты развернуты в пространстве и во времени. Размещение делянок систематическое, повторность 4-кратная, общая площадь делянки 77 м².

Агрохимические показатели почвы пахотного слоя следующие: рН_{сол.} 4,48-4,80, содержание подвижного фосфора – 148,0-160,0 мг/кг почвы, обменного калия – 132,0-156,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 1,98-2,00 % (по Тюриной).

В севооборотах возделывали рекомендованные для Кировской области сорта зерновых и кормовых культур. Агротехника возделывания культур традиционная для условий региона: вспашка, боронование, культивация.

¹Точное сельское хозяйство: учебно-практическое пособие. Под ред. Д. Шпаар, А. В. Захаренко, В. П. Якушев. СПб.-Пушкин, 2009. 397 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18915088>

Под промежуточные культуры применяли ресурсосберегающую (плоскорезную) обработку почвы с предпосевной культивацией. Посев ячменя после промежуточных культур проводили комбинированным агрегатом, который одновременно осуществляет обработку почвы, внесение удобрений и посев.

Минеральные удобрения вносили под все культуры, кроме многолетних трав, в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$, под посев промежуточных культур – N_{20} . Пестициды в опыте не использовали.

Исследования и расчеты баланса питательных элементов проведены на основе методик^{2,3}. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007.

В приходной части баланса учитывали питательные элементы минеральных и сидеральных удобрений, промежуточных культур и корневых остатков, а также поступление азота с бобовыми многолетними и однолетними травами за счет его фиксации из воздуха в количестве 1,8 и 0,9 кг азота на 1 ц основной продукции⁴. В расходной части баланса учитывали вынос NPK с урожаем. Вынос элементов в результате водной эрозии не учитывали, т. к. опытный участок имеет ровный рельеф.

Метеорологические условия периода вегетации культур были близки к среднегодовым значениям (количество осадков 322 мм, температура воздуха 67,6 °С за май-сентябрь). В 2010, 2013 и 2016 гг. показатели температуры воздуха превысили среднегодовые значения,

а в 2013 и 2016 гг. отмечался недостаток осадков, что негативно отразилось на росте и развитии культур севооборота. Для развития поукосных и пожнивных культур в годы проведения исследований погодные условия в целом были благоприятны, лишь в 2012, 2015 и 2016 гг. недостаток осадков отрицательно влиял на формирование урожая пожнивных культур. Для поукосных культур, посеянных после уборки зерносмесей на сенаж, погодные условия 2012 г. были оптимальными.

Результаты и их обсуждение. Длительные исследования в восьмипольных севооборотах показали, что баланс азота напрямую зависит от количества поступающих в почву сидеральных удобрений, массы промежуточных культур, отавы многолетних трав и корневых остатков [15].

При использовании промежуточных культур на сидеральные цели наиболее продуктивны в наших условиях редька масличная, рапс яровой, горчица белая, которые обеспечивают формирование урожайности 1,31-6,79 т/га с.в., дополнительно в почве остается 20-60 % корневых остатков от урожая надземной массы – 1,04-1,35 т/га. При использовании крестоцветных культур поукосно, т. е. после уборки зерносмесей на зеленый корм или зерносенаж, в почву поступает азота в зависимости от урожайности и условий года 18,3-95,1 кг/га (табл. 1). Если посев промежуточных культур производить после озимой ржи на зерно, то снижается их урожайность и поступление азота (9,1-36,0 кг/га).

Таблица 1 – Поступление в почву питательных элементов с сидеральными и промежуточными культурами, кг/га (2010-2017 гг.) /

Table 1 – Entry into the soil of nutrient elements with green manure and intercrops, kg/ha (2010-2017)

Культура / Crop	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люпин узколистный – сидерат / Narrow-leaved lupin – green manure	53,1-57,0	8,1-9,0	73,8-79,5
Однолетние травы – сидерат / Annual herbs – green manure	48,0-97,0	7,1-14,4	62,2-125,8
Клевер луговой – сидерат / Meadow clover – green manure	129,2-216,3	10,6-22,8	84,2-152,8
Редька масличная – пожнивно / Oilseed radish – stubble	9,1-36,0	5,1-15,6	11,7-36,0
Редька масличная – поукосно / Oilseed radish – by the cut	18,3-95,1	10,2-53,0	23,6-122,0
Рапс яровой – пожнивно / Spring rape – stubble	9,8-15,1	5,4-14,0	12,3-32,4
Рапс яровой – поукосно / Spring rape – by the cut	19,7-79,9	10,9-44,0	24,7-100,2
Горчица белая – пожнивно / White mustard – stubble	18,8-22,5	11,7-14,0	25,5-30,6
Горчица белая – поукосно / White mustard – by the cut	38,3-65,1	23,9-40,6	52,0-88,6

²Опытное дело в полеводстве. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.

³Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии: методические указания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 25 с.

⁴Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 42 с.

В контрольном севообороте с чистым паром (табл. 2) дефицит азота составлял 258,5 кг/га. При минимальных дозах удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) в данном варианте поступает на 50-120 кг/га меньше азота с минеральными удобрениями, т.к. в структуре севооборота 37,5 % занимают поля, где удобрения не вносятся (чистый пар и клеверотимофеечная смесь). Поступление с корнеотпрысковыми остатками (КСО) азота выше, чем с минеральными удобрениями – 267,5 кг/га. Вынос азота увели-

чивается за счет многолетних трав. Два поля клевера с тимофеевкой выносят в сумме 447,6 кг/га азота. Высокий вынос питательных элементов многолетними травами отмечается и в исследованиях А. А. Завалина, А. В. Пасынкова [16], С. А. Замятина и соавторов [17]. Следовательно, в контрольном севообороте при внесении сравнительно невысоких доз удобрений создается дефицитный баланс азота (-258,5 кг/га) при интенсивности 72 %.

Таблица 2 – Баланс азота в севооборотах /
 Table 2 – Nitrogen balance in crop rotations

	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
Статья баланса / Balance point	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед. / Crop rotation productivity, thousands of fodder units	4,47*	4,79	4,22	4,41
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	648,5	1276,0	1492,4	1447,0
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	200,0	220,0	270,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	267,5	375,9	420,7	589,9
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	32,1	166,6	239,5
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	227,3	220,0	-
- биологическая азотфиксация / biological N-fixation	162,2	371,9	396,3	278,8
- несимбиотическая азотфиксация, осадки / non-symbiotic N-fixation, precipitations	68,8	68,8	68,8	68,8
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	906,5	1025,8	1049,6	962,7
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-258,5	+250,2	+442,8	+484,3
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	72	124	142	150

* $HCP_{05} = F_{\phi} < F_T$ / * $LSD_{05} = F_T < F_t$

Проблема введения в структуру севооборотов чистого пара постоянно обсуждается. Совместно с определением доли чистого пара, возможной замены его занятыми или сидеральными парами, оптимизация севооборотов связана с разнообразием культур, в особенности с расширением доли бобовых многолетних трав, применением пожнивных и поукосных посевов крестоцветных культур [18]. Исследования В. П. Владимирова и соавторов показали, что использование редьки масличной, горчицы белой, сурепицы, люпина узколистного обеспечивает получение 15,0-31,5 т/га

надземной массы, что эквивалентно 30 т подстилочного навоза [19].

Положительный баланс азота (+250,2 кг/га) получаем в севообороте II с занятым паром, двумя полями многолетних бобовых трав при посеве в одном поле пожнивной горчицы белой. Поступление азота в количестве 227,3 кг/га увеличивает и запахивание отавы клевера. Отчуждение азота с урожаем культур (1025,8 кг/га) не превышает его поступления (1276,0 кг/га) и при бездефицитном балансе интенсивность его возрастает до 124 %.

Расширение приемов биологизации в севооборотах еще более увеличивает баланс в положительную сторону. Замена занятого пара во II севообороте сидеральным (III) с посевом люпина узколистного, посев пожнивно редьки масличной и поукосно рапса ярового (25 %) обеспечивают поступление 587,3 кг/га азота. Дополнительное запахивание отавы клеверотимофеечной смеси еще повысил приход азота на 220 кг/га. Позитивный баланс азота увеличился до 442,8 кг/га при интенсивности 142 % в сидеральном (III) севообороте.

В севооборотах длинной ротации возможно введение двух сидеральных полей. В севообороте IV вносится наибольшее количество минеральных удобрений (в семи полях), что дополняется двумя сидеральными культурами (клевер и смесь редька масличная + пелюшка + овес) и посевом трех (37,5 %) промежуточных культур (рапса ярового, редьки масличной, горчицы белой).

При введении в структуру IV севооборота рапса ярового пожнивно, редьки масличной и горчицы белой поукосно приход азота в севообороте увеличивается на 239,5 кг/га. За счет максимального введения биологических факторов при минимальном уровне внесения минеральных удобрений обеспечивается положительный баланс азота 484,3 кг/га, а его интенсивность 150 % уже превышает оптимальный уровень.

Определенный интерес в приходной статье баланса азота представляет доля биологически фиксированного азота. Минимальной она была в севообороте с чистым паром (162,2 кг/га), где азот фиксировали только два поля многолетних бобово-злаковых трав. По мере увеличения биологических факторов его доля доходила до 396,3 кг/га и была наибольшей в севообороте III с сидеральным люпиновым паром и снизилась до 278,8 кг/га в севообороте IV при наличии в структуре одного поля многолетних трав. При высоком насыщении севооборотов бобовыми травами и промежуточными культурами доля участия симбиотического азота в балансе составила 19,3-29,1 % при обогащении почвы азотом на 81,1-186,6 кг/га в год.

Расчет баланса фосфора (табл. 3) показал, что внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ в среднем за год не обеспечивает уравновешенного его баланса в контрольном севообороте с чистым паром и двумя полями многолетних трав. Превышение выноса над поступлением фосфора составило 129,1 кг/га при интенсивности баланса 64 %. Результаты

авторов [20], напротив, показали, что на дерново-подзолистой почве Подмосковья в зерно-травяном севообороте внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ обеспечивало уравновешенный баланс фосфора до +9,0 кг/га с возмещением выноса на 91-143 %.

Вынос фосфора из почвы урожаями культур значительно ниже, чем азота, но клевера также выносят наибольшее количество этого элемента. Так, при сборе 6,35 т/га с. в. выносятся 76,2 кг/га, а при повышении урожайности до 7,96 т/га этот показатель увеличивается до 95,5 кг/га. Зерновые культуры выносят фосфора с урожаем 31,9-49,7 кг/га. Вынос значительно снижается при введении в севообороты смесей зерновых с зернобобовыми или крестоцветными культурами при использовании их на зернофураж 15,0-15,5 кг/га.

Баланс фосфора с положительным приростом улучшался по мере насыщения севооборотов зернобобовыми смесями, промежуточными культурами, сидератами. Промежуточные культуры могут обогащать почву P_2O_5 на 5,4-53,0 кг/га в зависимости от цели их использования (табл. 1). В севооборотах с занятым паром (II) и сидеральным (III) вносится одинаковое количество минеральных удобрений 180 кг/га, но введение двух промежуточных культур в сидеральном севообороте (III) обеспечивает поступление 89,7 кг/га азота и положительный баланс увеличивается до 65,5 кг/га с интенсивностью 117 % (табл. 3).

В севообороте с двумя сидеральными парами (IV) при одном поле клевера значительно снижается вынос фосфора и увеличивается его приход с тремя промежуточными культурами и сидеральной массой с двух полей. Поступление с минеральными удобрениями также повышается до 210 кг/га за счет внесения фосфора в семи полях, что привело к положительному балансу (+148,1 кг/га) при экологически безопасных нормативах интенсивности 145 % [21].

Систематическое внесение фосфорных удобрений и применяемые факторы биологизации позволяют не только сохранить исходное содержание этого элемента в почве, но и увеличить его. Достоверное увеличение подвижного фосфора на 39-46 мг/кг ($HCp_{05} = 14,0$) произошло в севооборотах с занятым и сидеральными парами. В контрольном севообороте повышение отмечено только на уровне тенденции.

По группировке обеспеченности фосфором почвы перешли в группу «высокая обеспеченность».

Таблица 3 – Баланс фосфора в севооборотах /
Table 3 – Balance of phosphorus in crop rotations

	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
Статья баланса / Balance point	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	226,8	395,0	450,9	476,3
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	180,0	180,0	210,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	76,8	119,6	111,2	134,8
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	17,9	89,7	131,5
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	77,5	70,0	-
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	355,9	382,5	385,4	328,2
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-129,1	+12,5	+65,5	+148,1
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	64	163	117	145
Содержание подвижного фосфора в начале ротации, мг/кг почвы / Content of mobile phosphorus at the beginning of rotation, mg/kg of soil	160	151	148	155
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	153,5			
Содержание подвижного фосфора в конце ротации, мг/кг почвы / Content of mobile phosphorus at the end of rotation, mg/kg of soil	172	197	194	194
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	189,2			
НСР ₀₅ (по содержанию P ₂ O ₅) / LSD ₀₅ (by P ₂ O ₅ content)	14,0			

При расчете баланса калия отмечена эта же тенденция, что и при балансе азота и фосфора. В контрольном севообороте отмечается наименьшее поступление обменного калия с минеральными удобрениями и корнеостерневыми остатками (табл. 4). Здесь вынос с урожаем превосходит поступление калия на 252,1 кг/га, создавая отрицательный баланс при его интенсивности 63 %. Наблюдается высокий вынос элемента с урожаем многолетних трав – 139,0 и 159,4 кг/га, в то время как зерновые выносят 62,0-96,6 кг/га. Исследования авторов [20] также показали, что при внесении минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ и насыщении севооборота бобовыми культурами до 67 % не обеспечивался бездефицитный баланс калия, но снижалась величина отрицательного баланса с 67-81 до 38-51 кг/га.

Баланс калия в севообороте с занятым паром (II) при введении одной пожнивной культуры и запахиваемой отавы клевера увеличивается в положительную сторону (+128,9 кг/га),

интенсивность повышается до 116 %, превышая экологически безопасные нормативы для данного типа почв (70 %).

В сидеральных севооборотах поступление калия значительно возрастает (1220,7 и 1223,6 кг/га) за счет введения в их структуру промежуточных культур до 25,0-37,5 % (2-3 поля). Надземная масса и корневые остатки крестоцветных, богатые калием, оставляют после себя до 100,2-122,0 кг/га этого элемента (табл. 1). В данных севооборотах обеспечивается положительный баланс калия с приходом его до 386,7 и 395,8 кг/га за ротацию при высоких показателях интенсивности 146 и 148 % (табл. 4).

Содержание обменного калия в почве осталось в этой же группе обеспеченности («повышенное» – 131-140 мг/кг) этим элементом. Тенденцию снижения содержания этого элемента в почве можно наблюдать в севооборотах с двумя полями многолетних трав (II и III) за счет значительного выноса калия бобовыми травами.

Таблица 4 – Баланс калия в севооборотах /
Table 4 – Balance of potassium in crop rotations

Статья баланса / Balance point	Севооборот / Crop rotation			
	I	II	III	IV
	с чистым паром (контроль) / with clean fallow (control)	с занятым паром / with cropped fallow	с сидеральным паром (люпин) / with green manure fallow (lupin)	с сидеральными парами (клевер, однолетние травы) / with green manure fallows (clover, annual herbs)
Поступило всего, кг/га / Received total, kg/ha:	437,3	929,2	1220,7	1223,6
- с минеральными удобрениями / with mineral fertilizers	150,0	180,0	180,0	210,0
- с КСО, сидератами / with crop residues, green manure	287,3	442,2	586,0	683,2
- с промежуточными культурами / with intercrops	-	40,0	204,7	330,4
- с отавой многолетних трав / with aftergrass of perennial herbs	-	267,0	250,0	-
Вынос с урожаем, кг/га / Yield removal, kg/ha	689,4	800,3	834,0	827,8
Баланс, кг/га / Balance, kg/ha	-252,1	+128,9	+386,7	+395,8
Интенсивность баланса, % / Balance intensity, %	63	116	146	148
Содержание обменного калия в начале ротации, мг/кг почвы / Content of exchangeable potassium at the beginning of rotation, mg/kg of soil	130	132	138	142
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	135,5			
Содержание обменного калия в конце ротации, мг/кг почвы / Content of exchangeable potassium at the end of rotation, mg/kg of soil	132	129	131	140
Среднее по севооборотам / Average for crop rotations	133,0			
НСР ₀₅ (по содержанию K ₂ O) / LSD ₀₅ (by K ₂ O content)	9,5			

Определение корреляционной зависимости урожайности ячменя в последствии при создавшемся уровне плодородия показало, что зависимость от содержания подвижного фосфора и обменного калия средняя ($r = 0,33-0,36$).

Продуктивность севооборотов в большей степени зависела от наличия в структуре паровых полей и доли зерновых культур, дающих больший выход кормовых единиц. Применение минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ обеспечивало продуктивность севооборотов на уровне 4,22-4,79 тыс. корм. единиц (табл. 2). По количеству кормовых единиц выигрывал севооборот с занятым паром (II). Средняя урожайность зерновых получена независимо от доли биологических факторов на уровне 3,26-3,29 т/га.

Если промежуточные культуры использовать не на сидеральные цели, как источник органического вещества, а на корм, то дополнительно можно получить 1,21-3,00 тыс. кормовых единиц в III и IV севооборотах.

Выявлена высокая корреляционная зависимость ($r = 0,77$) между поступлением органического вещества в почву и урожайностью сидеральных и промежуточных культур.

Заключение. Многолетние исследования, проведенные в стационарном опыте, показали, что освоение биологизированных севооборотов может стать альтернативой применения агрохимических средств, обеспечивающих сохранение и повышение плодородия дерново-подзолистых почв Кировской области. За восемь лет ротации полевых севооборотов на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным содержанием калия при сравнительно низких дозах (N₃₀P₃₀K₃₀) минеральных удобрений и интенсивном использовании средств биологизации (сидеральные удобрения, промежуточные культуры, запахивание корне-стерневых остатков культур и отавы многолетних бобовых трав) возможно сохранение почвенного плодородия и формирование положительного баланса питательных элементов.

В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов с минеральными удобрениями и корнестерневыми остатками баланс NPK был отрицательным с интенсивностью 72, 64, 63 % соответственно.

Замена чистого пара на занятый и сидеральные, посев промежуточных культур (12,5-37,5 %) способствуют созданию положительного баланса азота 250,2-484,3 кг/га с высокой интенсивностью 124-150 %.

Факторы биологической интенсификации способствовали и созданию положительного баланса фосфора 12,5-148,1 кг/га с оптимальной интенсивностью 117-163 % и баланса калия

128,9-395,8 кг/га при интенсивности выше оптимального значения 116-148 %.

Продуктивность севооборотов зависела от наличия паровых полей и зерновых культур в структуре. Применение минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) с факторами биологической интенсификации обеспечивало продуктивность севооборотов на уровне 4,22-4,79 тыс. корм. ед. По наиболее оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания выделяется севооборот с двумя сидеральными парами (клевер и смесь редька масличная + пелюшка + овес) и посевом промежуточных культур в трех полях (37,5 % в структуре севооборота).

Список литературы

1. Лошаков В. Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: Изд-во ВНИИА, 2012. 512 с.
2. Лошаков В. Г. Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(1):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
4. Каштанов А. Н. Адаптивно-ландшафтные системы основа экологизации и биологизации земледелия. Russian agricultural science review. 2015;6(6-1):16-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23851921>
5. Постников П. А., Попова В. В. Влияние удобрений на урожайность культур и вынос питательных элементов в зернопаросидеральном севообороте. Агрохимия. 2021;(4):42-48. DOI: <https://doi.org/10.31857/S000218812104013X>
6. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2018;68(4):358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
7. Dubey R. K., Dhaker R. C., Mundra S. L., Tiwari R. C., Dubey S. K., Dubey R. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(8):3319-3331. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.396>
8. Кислов А. В., Глинушкин А. П., Кашеев А. В., Сударенков Г. В. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в степной зоне Южного Урала. Земледелие. 2018;(6):6-10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10602>
9. Козлова Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(1):6-9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
10. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Баланс элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия. Таврический вестник аграрной науки. 2021;(3(27)):84-94. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94>
11. Чекмарев П. А. Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению в 2012 г. Агрохимический вестник. 2012;(1):2-4. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17468373>
12. Сычев В. Г., Шафран С. А. О балансе питательных веществ в земледелии России. Плодородие. 2017;(1):1-4. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28846834>
13. Лукин С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области). Земледелие. 2021;(1):11-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10103>
14. Комарова Н. А., Комаров В. И., Гришнина А. В., Беликова Т. А. Баланс питательных веществ в почвах и динамика изменения величины почвенно-агрохимического индекса. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013;2(9 (13)):234-240. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20434023>
15. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):467-477 DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
16. Завалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: РАСХН, 2007. 208 с.

17. Замятин С. А., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивнокорневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):594-601. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
18. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019;(9):1130-1139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
19. Владимиров В. П., Егоров Л. М., Аппаков В. И. Сидеральная культура – эффективный предшественник для картофеля. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2012;7(3):101-105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993511>
20. Конончук В. В., Штырхунов В. Д., Тимшенко С. М., Лисеенко Е. Н. Баланс элементов питания и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы за ротацию зерноотраважного севооборота. *Агрохимия*. 2008;(12):3-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11617658>
21. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах. *Агрохимия*. 2019;(4):3-10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>

References

1. Loshakov V. G. Crop rotation and soil fertility. Moscow: *Izd-vo VNIIA*, 2012. 512 p.
2. Loshakov V. G. Effectiveness of separate and combined use of crop rotation and fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(1):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
4. Kashtanov A. N. Adaptive landscape systems are the basis of ecologization and biologization of agriculture. *Russian agricultural science review*. 2015;6(6-1):16-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23851921>
5. Postnikov P. A., Popova V. V. Influence of fertilizers on crop yield and removal of nutrient elements in grain-steam-sideral crop rotation. *Agrokhimiya*. 2021;(4):42-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S000218812104013X>
6. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2018;68(4):358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
7. Dubey R. K., Dhaker R. C., Mundra S. L., Tiwari R. C., Dubey S. K., Dubey R. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(8):3319-3331. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.396>
8. Kislov A. V., Glinushkin A. P., Kashcheev A. V., Sudarenkov G. V. Ecology modeling of crop rotations and biological reproduction of soil fertility in the steppe area of the South Urals. *Zemledelie*. 2018;(6):6-10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10602>
9. Kozlova L. M. Productivity and Balance of Main Nutrients in Crop Rotations at Different Levels of Intensification. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(1):6-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
10. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakov E. V. Balance of nutrition elements in crop rotation under biologized adaptive landscape farming. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki = Taurida herald of the agrarian sciences*. 2021;(3(27)):84-94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94>
11. Chekmarev P. A. Soil fertility and measures of its increase in 2012. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*. 2012;(1):2-4. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17468373>
12. Sychev V. G., Shafran S. A. Balance of nutrients in Russian agriculture. *Plodorodie*. 2017;(1):1-4. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28846834>
13. Lukin S. V. Influence of agriculture biologization on soil fertility and productivity of agroecosystems (Belgorod experience). *Zemledelie*. 2021;(1):11-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10103>
14. Komarova N. A., Komarov V. I., Grishina A. V., Belikova T. A. Balance of nutrients in the soils and the dynamics of a change of the value of the soil-agrochemical index. *XXI vek: itogi proshlogo i pro-blemy nastoyashchego plus = XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. 2013;2(9 (13)):234-240. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20434023>
15. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(5):467-477. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
16. Zavalin A. A., Pasyunkov A. V. Nitrogen nutrition and grain crop quality forecast. Moscow: *RASKhN*, 2007. 208 p.

17. Zamyatin S.A., Efimova A.Yu., Maksutkin S.A. The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):594-601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
18. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(9):1130-1139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
19. Vladimirov V. P., Egorov L. M., Appakov V. I. Green manure crops - effective for potato predecessor. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2012;7(3):101-105. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993511>
20. Kononchuk V. V., Shtyrkhunov V. D., Timshenko S. M., Liseenko E. N. Balance of Nutrients and Changes in Agrochemical Parameters of Soddy-Podzolic Soil during a Grain-Grass Crop Rotation Cycle. *Agrokhimiya*. 2008;(12):3-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11617658>
21. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific basis for predicting the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soils. *Agrokhimiya*. 2019;(4):3-10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>

Сведения об авторах

✉ **Козлова Людмила Михайловна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Попов Фёдор Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Information about the authors

✉ **Lyudmila M. Kozlova**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Department of Crop Farming, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Fyodor A. Popov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Crop Farming, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

✉ – Для контактов / Corresponding author