

К ОЦЕНКЕ НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ФЕРМЕНТАТИВНОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ СЕЯНЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛУГОВ

¹С.Н. Поцепай, к.с.-х.н., ²Л.Н. Анищенко, д.с.-х.н., ¹В.Ф. Шаповалов, д.с.-х.н.,

¹М.В. Семышев, к.п.н., ¹Н.А. Капошко, ¹П.П. Атрошенко

¹Брянский государственный аграрный университет, e-mail: bgsha@bgsha.com

²Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского, e-mail: eco_egf@mail.ru

Для почв лугов различного происхождения впервые для Нечерноземья РФ установлена углеродпоглощительная способность и ферментативная активность для уреазы, каталазы, целлюлазы в зависимости от залужающих растений, а также в экспериментах с химической мелиорацией синтетическим кремнийсодержащим препаратом торговой марки Ковелос. В почвах под сеяными и естественными лугами установлена зависимость к накоплению $S_{орг}$ и запасов $S_{орг}$, наименьшее содержание зафиксировано для почв под естественными лугами, наибольшее в вариантах опыта с доминированием бобовых растений чина + овес. При химической мелиорации с использованием нанопрепарата Ковелос выявлено повышение значений всех изученных показателей: внесение аморфного диоксида кремния находит особенно хороший отклик по естественным травостоям лугов и почв. Однако отмечена взаимосвязь между показателями $S_{орг}$ и биомассой корней травостоя, сложного видами рода клевер и многолетними травами, также и среднемесячным количеством осадков в летний период. Полученные результаты будут использованы для решения проблемы декарбонизации, так как помогают выявлять ряд внешних и внутренних факторов, контролирующую поглощение и фиксацию соединений углерода. Для увеличения углеродпоглощительной способности почв целесообразно залужать сельскохозяйственные почвы, находящиеся под паром, используя однолетние травы, в том числе и семейства бобовые. Сеяные луга лучше конструировать с применением многолетних культур, особенно злаковых (рыхло- и плотнoderновинных), а также бобовых растений.

Ключевые слова: органический углерод почвы, почвенные ферменты, химическая мелиорация, естественные и сеяные луга, Брянская область.

TO ESTIMATION OF ACCUMULATION OF ORGANIC SUBSTANCES, ENZYMATIC AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SEEDED AND NATURAL MEADOWS SOILS

¹PhD. S.N. Potsepai, ²Dr.Sci. L.N. Anishchenko, ¹Dr.Sci V.F. Shapovalov,

¹PhD. M.V. Semyshev, ¹N.A. Kaposhko, ¹P.P. Atroshenko

Bryansk State Agrarian University, e-mail: bgsha@bgsha.com

Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, e-mail: eco_egf@mail.ru

For the soils of various origins meadows, for the first time in the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation, carbon-absorbing capacity, enzymatic activity for urease, catalase, cellulase, depending on grassing plants, and also in experiments with chemical reclamation with a synthetic silicon-containing preparation of the Kovelos trademark have been established. The dependence to the accumulation of SOC (soil organic carbon) and SOC reserves in soils under seeded and natural meadows has been established: the lowest content has been recorded for soils under natural meadows, the highest in the variants of the experiment with the dominance of legume plants as dominants; in the variant of meadow pea and oats. During chemical reclamation using the nanopreparation Kovelos, an increase in the values of all the studied indicators was revealed: the introduction of amorphous silicon dioxide finds a particularly good response in the natural herbage of meadows and soils. However, there is a relationship between the indicators of SOC and the biomass of the herbage roots, composed of species of the genus clover and perennial grasses, as well as the average monthly precipitation in summer. The results obtained are used to solve the problem of decarbonization, as they help to identify a number of external and internal factors that control the absorption and fixation of carbon compounds. To increase the carbon absorption capacity of soils, it is advisable to deposit agricul-

tural soils under steam using annual grasses, including legume families. Seeded meadows are better designed with the use of perennial crops, especially cereals – loose and dense-grain, as well as legumes.

Keywords: soil organic carbon, soil enzymes, chemical reclamation, natural and seeded meadows, the Bryansk region.

Почвы агроэкосистем и квазинативных сообществ, широко распространенных в Нечерноземье РФ, основной компонент энергетического и вещественного обмена. Интенсивная эксплуатация биокосного тела, а также изменение видового разнообразия естественных лугов вызывает деградацию почв, одновременно снижая поглотительные способности по отношению к парниковым газам, т.е. выключает почвы из углерод поглотительной системы. Мониторинг органического вещества почвы (SOC, $C_{орг.}$) – важное условие для решения проблемы декарбонизации на современном этапе развития не только сельскохозяйственного производства, но и индустриального потенциала в целом [1, 2]. Потенциал секвестрации $C_{орг.}$ в Евросоюзе рассчитан от 8,5 до 57 Мт-экв в год, по данным современных геоинформационных технологий до 25% органического углерода сосредоточено в естественных луговых и кустарниковых угодьях, поэтому важно дать анализ накоплению пахотными и залуженными землями органического углерода, прежде всего, для уменьшения давления парникового эффекта в староосвоенных регионах [1, 3, 4, 5]. Вместе с тем углеродпоглотительная система почв сельскохозяйственного назначения функционирует во взаимосвязи с бактериальным компонентом, определяющим скорость окислительно-восстановительных процессов. В настоящее время актуально изучить взаимосвязь экологических элементов и условий формирования и функционирования почв с результатом биохимических процессов как условие управления биосферной ролью биокосного тела.

Цель исследования – изучить запасы органического углерода в почвах, а также ее ферментативную активность при различных подходах к моделированию фитомелиоративных мероприятий в условиях естественных и сеяных лугов.

Объекты и методы. Для проведения исследований был заложен многолетний эксперимент с естественными (Брянский, Жуковский район Брянской области) и сеяными лугами (Стародубский район Брянской области). Данные по химической мелиорации сеяных луговых сообществ были представлены ранее [6,7] и было рекомендовано внесение химического мелиоранта в средней концентрации, а также отмечено повышение содержания витамина С в биомассе травостоя и биомассы корней, определяющих содержание и поступление $C_{орг.}$, который увеличивает процесс азотфиксации.

Заложенные экспериментальные модели лугов использовали и для выяснения запасов органического вещества почвы, содержания активной части $C_{орг.}$, а также ферментативной активности [7]. Доминанты

сеяных лугов клевера красного, чины и овса посевного, клевера красного и овсяницы луговой, клевера красного и тимофеевки луговой, клевера розового (гибридного), овсяницы луговой, тимофеевки луговой. Серию площадок с лисохвостом луговым не использовали. Возраст многолетнего луга 2-4 года, чины и овса – однолетние культуры. Характеристика почв: аллювиальные дерново-оглеенные супесчаные; pH_{KCl} 4,9-5,4; содержание P_2O_5 585-620 мг/кг.

В естественных лугах эксперимент осуществляли на распространенных типах сообществ, интенсивно используемых под сенокос и пастбища. Это болотно-мятликово-лугово-лисохвостовый тип с сообществами ассоциации *Poa palustris* – *Alopecuretum pratensis* Shelyag-Sosonko et al. 1987, в котором преобладает мятлик болотный, формирующий сообщества на влажных и хорошо увлажняемых участках, со слоистыми, слоисто-зернистыми почвами. Другой распространенный тип лугов – с сообществом *Phleum pratense*, в котором регистрируются как доминирующие тимофеевка и овсяница луговая, обильно представлено разнотравье, однако число видов мотыльковых снижено; формируются в средних условиях увлажнения. Третий тип луговых сообществ формируется как остепненные и мелкозлаковые – келериево-красноовсяницевый тип, с сообществами лугов *Poa Festucetum pratensis* Sapegin 1986 и *Poa angustifoliae*–*Agrostietum vinealis* Sapegin et al 2009; условия увлажнения неблагоприятные, с обильным разнотравьем, малой видовой насыщенностью, одной из наименьших продуктивностью.

В экспериментах выясняли влияние травостоя на ферментативную активность и показатели Сорг, одновременно исследовали воздействие величины выпадения осадков за вегетационный период. Применяли химический мелиорант – аморфный диоксид кремния (АДК) торговой марки Ковелос (производитель – НПО «Экокремний»), действие которого благоприятно сказывается на связывании токсикантов, в том числе и радионуклидов, скорости обменных процессов в биомассе травостоя, повышении микробной биомассы. АДК представлен в виде порошка с нанопористой структурой и активными адсорбционными свойствами. Этот химический мелиорант содержит кремний в наиболее доступной растениям и микроорганизмам форме, что подтверждено рядом исследований [8-13].

Опыт заложен на заливном лугу центральной поймы реки Десна на сеяной злаковой травосмеси. Площадь посевной делянки 50 м², учетной – 20 м² в соответствии с «Методикой опытов на сенокосах и пастбищах» (1971). Почвенные образцы отбирали

методом конверта в первой декаде июля и четвертой декаде августа, руководствуясь положением ГОСТ [14]. В первой декаде августа с площадки в 1 м² изымали всю корневую массу растений. Исследования проводили в четырехкратной повторности. АДК вносили в виде подкормки полной дозой в один прием, как и фосфорные (суперфосфат простой гранулированный) и калийные (хлористый калий) удобрения – Р₄₀К₆₀. Под бобово-злаковые сеяные луга не вносили азотные удобрения. В естественных лугах на пробных площадках вносили АДК методом распыления в виде подкормки также в один прием в весенний период при начале вегетации.

Содержание С_{орг.} выявляли по методу Тюрина для слоя почвы 0-20 см; подвижные гуминовые вещества экстрагировали 0,1 М раствором Na₄P₂O₇ при разведении 1:15 (Слаб). Подвижное С_{орг.} извлекали 0,1Н раствором гидроксида натрия, определяя содержание углерода [15, 16]. При исследовании уреазной активности почвы использовали фотометрический метод, измеряя количество аммиака, образующегося при гидролизе мочевины под каталитической активностью уреазы. Измерение каталазной активности осуществляли перманганатометрическим методом Джонсона и Темпле [15, 16].

Целлюлозолитическую активность почвы определяли аппликационным методом. В ходе эксперимента использовали фильтровальную бумагу (квадраты размером 5 x 5 см). Навески почвы массой 50 г, предварительно освобожденные от растительных остатков, помещали в стерильные чашки Петри, затем субстрат располагали в чашки, придавливали почвой. Почву смачивали до 65% полной влагоемкости. Чашки Петри выдерживали 30 суток при постоянной температуре 27-28°С, доводя влажность до первоначального уровня дистиллированной водой.

Ферментативную активность почвы, а также активность целлюлозоразрушающих бактерий оценивали согласно шкалам, предложенным Д.Г. Звягинцевым [17].

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами [18].

Результаты. Результаты определения органиче-

ских веществ и ферментативной активности для Нечерноземья РФ тесно связаны с сопутствующими факторами – внешними и внутренними биотическими (табл. 1). За двухлетний период наблюдений количество Сорг изменялось в ряду: чина + овес > клевер розовый + овсяница + тимopheевка > клевер красный > клевер красный + тимopheевка > клевер красный + овсяница > болотно-мятликово-лугово-лисохвостовый > разнотравно лугово-тимopheевковый > келериево-красноовсяницевый > контроль. Наименьшее содержание С_{орг.} зафиксировано в почве естественных лугов, однако различия с контролем и модельными экспериментами не достоверны. По отношению к контролю наблюдалась закономерность по возрастанию количества органического вещества. На вариантах опыта с сеяными лугами при включении в травосмесь растений семейства Мотыльковых возрастали значения С_{орг.}.

В условиях химической мелиорации достоверно увеличилась масса корней на площади исследуемых почв лугов под клевером красным, чины и овса посевного. Вероятно, это воздействие на ростовые процессы препарата АДК усилилось благодаря повышению доступности соединений фосфора для растений. Кремнийсодержащие удобрения увеличивают объем, общую и рабочую адсорбирующую поверхность корней у культурных растений, улучшают корневое дыхание [11, 12]. Так как в вариантах эксперимента с бобовыми и злаковыми растениями зафиксирована значительная биомасса корней, то накопление органического углерода зависит, прежде всего, от этого внутреннего фактора. Также увеличение определяемых органических веществ обусловлено и активизацией процессов их трансформации бактериальным компонентом, в том числе и обогащение почвы азотом, что неоднократно отмечалось ранее [7, 11, 19]. Показатели С_{орг.з}, запас С_{орг.} (%) возрастают в почвах лугов, для которых зафиксирована значительная масса корней (кг/м²): ддясообществ с клевером красным, многолетними и однолетниками культурами, клевером розовым. При применении АДК как химического мелиоранта впервые получены данные по содержанию С_{орг.} (табл. 2).

1. Содержание и запасы органического углерода в почвах сеяных и естественных лугов в Нечерноземье РФ

Вариант	С _{орг.з} , % M±m	Запасы С _{орг.з} т/га, M±m	С _{лаб.} мг/100 г почвы / % от С _{орг.} почвы M±m
1. Клевер красный	2,25±0,04	57,17±2,8	780 / 45,2
2. Клевер красный + овсяница	2,23±0,04	53,65±2,6	760 / 41,8
3. Клевер красный + тимopheевка	2,24±0,05	54,84±2,9	760 / 41,3
4. Клевер розовый + овсяница + тимopheевка	2,27±0,04	57,97±2,8	775 / 44,6
5. Чина + овес	2,31±0,05	58,90±2,8	790 / 48,5
6. Болотно-мятликово-лугово-лисохвостовый	2,17±0,02	49,92±2,4	755 / 39,0
7. Разнотравно-лугово-тимopheевковый	2,17±0,02	49,87±2,3	750 / 40,2
8. Келериево-красноовсяницевый	2,11±0,04	48,34±1,8	750 / 40,8
9. Контроль	1,92±0,03	46,15±2,1	

За четырехлетний период внесения мелиоранта на 3 и 4 год значения $C_{орг.}$ возросли для почв, залуженных естественной и сеяной растительностью, что сопровождалось увеличением массы корней. Различия в фиксации $C_{орг.}$ недостоверно различаются с вариантами без внесения нанокремния, однако значительно возрастают запасы $C_{орг.}$. Ряд по накоплению $C_{орг.}$ в результате многолетнего применения химического мелиоранта следующий: чина + овес > клевер розовый + овсяница + тимфеевка (клевер красный + овсяница) > клевер красный > клевер красный + тимфеевка > болотно-мятликово-лугово-лисохвостовый (разнотравно-лугово-тимфеевковый) > келериево-красноовсяницевоый. Наибольшая биомасса корней зарегистрирована в почве под вариантами 2 и 4, а также под естественными луговыми угодьями, так как они сложены кистекорневыми и корневищными многолетними растениями. Наблюдается положительная сильная корреляционная связь между показателями органического углерода и биомассой корней ($R = 0,74$), наиболее значительная для сообществ с залужением клевер розовый + овсяница + тимфеевка ($R^2 = 0,78$), клевер красный + овсяница ($R^2 = 0,75$). При внесении АДК стимулируется возрастание корневой массы, а также деятельность микроорганизмов, что обусловило вышеприведенные результаты. Однако по сравнению с сеяными лугами, наибольшее накопление $C_{орг.}$ определено для естественных луговых сообществ, даже с сухими почвами на гривах суходолов.

Показатели запасов и лабильных веществ были бы больше за двухгодичный интервал исследования, однако длительный засушливый период 2021 г., воздействуя лимитирующе на микробиоту почв, а также на продукцию надземной и подземной биомассы растений лугов разного происхождения, снизил цифры запаса $C_{орг.}$. Установлена положительная сильная корреляционная связь с органическим углеродом и среднемесячными количествами осадков в июне, июле и августе ($R^2 = 0,65, 0,72$ и $0,71$ соответственно).

2. Содержание и запасы органического углерода в почвах сеяных и естественных лугов в условиях химической мелиорации в течение двухлетних наблюдений

Вариант	$C_{орг.}$ % M±m	Запасы $C_{орг.}$ т/га M±m	$C_{лаб.}$ мг/100 г почвы, % от $C_{орг.}$ почвы M±m
1	2,33±0,04	58,11±2,9	790 / 47,9
2	2,36±0,07	59,61±3,2	770 / 45,2
3	2,35±0,05	57,64±3,2	775 / 44,8
4	2,38±0,05	59,62±3,2	780 / 47,3
5	2,36±0,06	61,26±3,1	810 / 50,2
6	2,40±0,07	54,67±2,9	785 / 43,4
7	2,36±0,05	54,57±2,9	780 / 44,1
8	2,44±0,06	53,92±2,7	790 / 43,1

Примечание. Расшифровка вариантов дана в таблице 1.

Ферментативная активность – один из важных показателей скорости биохимических процессов, фермент уреазы играет важнейшую роль в превращениях азотсодержащих соединений, каталаза – фермент, по активности которого судят о насыщенности слоев почвы микроорганизмами при катализе реакции разложения пероксида водорода, как продукта их жизнедеятельности. Накопление органического углерода почвой и показатели ферментативной активности связаны в единый процесс углеродного цикла. Показатели ферментативной активности приведены в таблице 3 и характеризуют почвы как средние по наличию катализаторов белковой природы.

При внесении АДК также как и в экспериментах по накоплению $C_{орг.}$ наблюдается возрастание количества уреазы и каталазы, что свидетельствует об активизации деятельности микроорганизмов. Наибольшие значения ферментативной активности при химической мелиорации выявлены для почв естественных лугов. Хорошие результаты показаны для посевов клевера и злаковых культур; а фермента уреазы – для однолетних культур – чины и овса. Связь процессов накопления $C_{орг.}$ и уреазы положительная сильная ($R^2 = 0,69$), $C_{орг.}$ и каталазы положительная сильная ($R^2 = 0,72$).

Процесс разложения клетчатки, осуществляемый микроорганизмами, одним из важнейших показателей плодородия почвы, определяющий уровень ее биогенности. Клетчатка – один из главных компонентов органического вещества, поэтому скорость ее разложения влияет на скорость разложения органики

3. Активность ферментов почв сеяных и естественных лугов Нечерноземья РФ

Вариант	АУ, мг N-NH ⁺ ₄ на 100 г почвы, M±m	Каталаза, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 мин, M±m	Скорость разложения бумаги, % сутки, M±m
1	17,10±0,09*	8,4±0,09	1,20
	22,15±0,10	8,8±0,09	1,22
2	16,88±0,08	8,5±0,09	1,19
	21,15±0,10	8,9±0,09	1,23
3	16,43±0,08	7,6±0,09	1,28
	20,22±0,11	9,1±0,07	1,30
4	15,91±0,09	8,2±0,09	1,30
	21,82±0,10	8,9±0,08	1,36
5	17,14±0,09	7,6±0,09	1,22
	22,42±0,11	8,5±0,08	1,28
6	15,14±0,08	8,2±0,09	1,12
	23,93±0,10	9,2±0,09	1,27
7	15,86±0,09	8,7±0,09	1,17
	23,97±0,12	9,4±0,08	1,30
8	15,59±0,09	8,3±0,09	1,15
	22,11±0,10	9,0±0,09	1,28

Примечание. В числителе приведены значения активности ферментов и целлюлозоразрушающей микробиоты до применения мелиорантов, в знаменателе – средние значения за четырехлетний период применения химического мелиоранта.

в почве в целом. Исследуемые почвы характеризуются средней активностью целлюлазы. Кроме того, на активность почвенной микрофлоры, определяющей интенсивность разложения целлюлозы, оказывают влияние такие факторы, как количество и состав поступающего опада, кислотность, содержание и качество гумуса почвы. Замедленный процесс разложения целлюлозы ускоряет внесение АДК, необходимого косвенно для воспроизводства массы корней растений, надземной биомассы и опада по окончании вегетационного периода (табл. 3). В условиях эксперимента наблюдается повышение уровня целлюлозолитической активности: выявлена положительная сильная корреляционная связь ($R^2 = 0,78$) с содержанием $C_{орг.}$

Таким образом, для почв лугов различного происхождения Нечерноземья РФ установлена углеродпоглощательная способность в зависимости от залужающих растений, а также в экспериментах с химической мелиорацией синтетическим кремнийсодержащим препаратом, изученным ранее, в том числе и в связи с реабилитацией радионуклидного почвенного загрязнения. Наименьшее содержание зафиксировано для почв под естественными лугами, наибольшее – в вариантах с доминированием бобовых растений

как доминантов и в варианте чина + овес. При химической мелиорации с использованием препарата Ковелос выявлено повышение значений всех изученных показателей, статистически недостоверное. Внесение АДК находит особенно хороший отклик по естественным травостоям лугов и почв. Однако отмечается взаимосвязь между показателями $C_{орг.}$ и биомассой корней травостоя, сложенного видами рода клевер и многолетними травами, также и среднемесячным количеством осадков в летний период.

Для увеличения углеродпоглощательной способности почв целесообразно залужать сельскохозяйственные почвы, находящиеся под паром, используя однолетние травы, в том числе и семейства бобовые. Сеяные луга лучше конструировать с применением многолетних культур, особенно злаковых – рыхло- и плотнoderновинных, а также бобовых растений. Накопление органического углерода на староосвоенных территориях дополнит разрабатываемые информационные системы ГИС по его запасам и пространственному распределению для решения проблем изменения климата и обеспечения продовольственной безопасности.

Литература

- Rodriguez-Lado L., Rial M., Taboada T., Cortizas A. A pedotransfer function to map soil bulk density from limited data // *Procedia Environmental Sciences*, 2015, V. 27. – P. 45–48.
- Sequeira Cleiton H., Wills Skye A., Seybold Cathy A., West Larry T. Predicting soil bulk density for incomplete databases // *Papers in Natural Resources*, 2014, Paper 397. <http://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/397>
- Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе // *Почвоведение*, 2020, № 3. – С. 340–350.
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // *Почвоведение*, 2013, № 2. – С. 123–132.
- Gougoulias C., Clark J.M., Shaw L.J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, № 94. – P. 2362–2371.
- Поцепай С.Н., Анищенко Л.Н., Бельченко С.А. Состояние естественных лугов бассейна Десны Нечерноземья РФ как основа их рационального использования // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 2018, № 5. – С. 35–41.
- Поцепай С.Н., Бельченко С.А., Анищенко Л.Н., Продуктивность и эколого-химические характеристики сеяных лугов Подесенья в фоновых условиях (Брянской области) // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, 2019, № 1. – С. 39–44.
- Борисов М.В. Экспериментальное исследование форм нахождения кремнекислоты в растворах: автореф. дисс. к.г.-м.н. – М.: МГУ, 1976. – 28 с.
- Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П. Роль кремния в питании растений и защита сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // *Проблемы агрохимии и экологии*, 2008, № 2. – С. 52–57.
- Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Кособрюхов А.А. О подвижных формах кремния в растениях // *Доклады РАН*, 2008, № 418(2). – С. 279–281.
- Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе: почва-растение: дисс. к.б.н. – М.: МГУ, 2014. – 136 с.
- Adatia M.H., Besford R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution // *Ann. Bot.*, 1986, Vol. 58. – P. 343–351.
- Yoshida S. The physiology of silicon in rice // *Asian and Pacific Council. Food and Fertilizer Technology Center. Technical bulletin*, 1975, Vol. 25. – P. 35–39.
- Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу / пер. с англ.; под ред. А.Г. Рябошапка. Kjeller, 2001: [site of NILU]. URL: <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html>
- Середа Н.А., Валеев В.М., Баязитова Р.И., Алибаев А.А. Практикум по агрохимии. – Уфа: БГАУ, 2004. – 115 с.
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 250 с.
- Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
- Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
- Пуртова Л.Н., Щапова Л.Н., Емельянов А.Н. Влияние различных фитомелиорантов на плодородие агрогенных почв Приморья // *Вестник КрасГАУ*, 2017, № 10. – С. 121–129.