

Почвоведение

УДК 631.4:631.421.12

<https://doi.org/10.31857/S2500-26272019239-43>

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА СВОЙСТВА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПАХОТНОГО УГОДЬЯ НА ПОЛОГОМ СКЛОНЕ ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВОЙ РАВНИНЫ

А.И. Иванов^{1,2}, член-корреспондент РАН, Ж.А. Иванова¹,
кандидат сельскохозяйственных наук, В.И. Дубовицкая¹

¹Агрофизический научно-исследовательский институт, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14
E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

²Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований
проблем продовольственного обеспечения, 196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 7

С целью закладки ландшафтного опыта изучен почвенный покров агроландшафта на пологом склоне озерно-ледниковой равнины и установлены факторы и параметры пространственной дифференциации некоторых физических, физико-химических и агрохимических свойств. Выявлена разная степень дифференциации отдельных свойств, связанная с особенностями почвообразующих пород, геохимических режимов и характером антропогенного воздействия. Определена значительная неоднородность по мощности элювиальных горизонтов, степени развития глеевого процесса, структурному состоянию, содержанию органического вещества, азота и умеренная – по гранулометрическому составу, физико-химическим свойствам и питательному режиму. Основным фактором варьирования свойств почвы в агроландшафте служит неоднородность моренной почвообразующей породы, которая по показателям физико-химических и агрохимических свойств составляет 19-59 %. Природно-антропогенный почвообразовательный процесс привел к сокращению среднего коэффициента вариации этих свойств в пахотном слое в 2,6 раза (с 36 до 14 %). Фактором повышения неоднородности ряда агрохимических свойств в 1,3-1,9 раза в транзитно-элювиальной фации стала плоскостная эрозия, в элювиальной фации в 3 раза – неравномерное внесение органических удобрений.

THE INFLUENCE OF LANDSCAPE CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF SOIL COVER OF ARABLE LAND ON A GENTLE SLOPE LAKE-GLACIAL PLAINS

Ivanov A.I.^{1,2}, Ivanova Zh.A.¹, Dubovitskaya V.I.¹

¹Agrophysical Research Institute, 195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy pr., 14
E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

²North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance,
196608, Sankt-Peterburg-Pushkin, sh. Podbel'skogo, 7

In order to lay the landscape experience, the soil cover of the agro-landscape on the gentle slope of the lake-glacial plain was studied and the factors and parameters of spatial differentiation of some physical, physico-chemical and agrochemical properties were established. The different degree of differentiation of individual properties associated with the characteristics of soil-forming rocks, geochemical regimes and the nature of anthropogenic impact is established. Significant heterogeneity in the power of eluvial horizons, the degree of development of the gley process, the structural state, the content of organic matter, nitrogen and moderate-granulometric composition, physico-chemical properties and nutritional regime. The main factor of variation of soil properties in the agricultural landscape is heterogeneity of soil-forming rocks, estimated in terms of physical, chemical and agrochemical properties in 19-59 %. Natural and anthropogenic soil formation process reduced the average coefficient of variation of these properties within the arable layer by 2.6 times (from 36% to 14 %). The factor of increasing the heterogeneity of a number of agrochemical properties by 1.3-1.9 times in the transitno-eluvial facies was planar erosion, in the eluvial facies by 3 times – uneven application of organic fertilizers.

Ключевые слова: агроландшафт, агромикрорландшафт, почвенный покров, материнская порода, геохимический режим, состав и свойства почвы

Key words: agrolandscape, agomicrolandscape, soil-shelter, source rock geochemical regime, composition and properties of the soil

Знание всего комплекса свойств почвы и его отражение в системе агротехнических мероприятий – одно из главных условий эффективного ведения земледелия [1-5]. Многие годы оно обеспечивалось работой государственных служб по почвенному и агрохимическому картированию. Но в последнее десятилетие прежние методические подходы подвергаются критике из-за недостаточного учета ландшафтных условий [3-7] – основного фактора дифференциации свойств почвы и эффективности систем удобрения. В частности, по данным Н.Г. Ковалёва с соавт. [8], в нижней части склонов

окупаемость минеральных удобрений уменьшается в 2-5 раз. На фоне выраженного развития плоскостной эрозии это объясняется перераспределением биогенных элементов в пользу части склона с намытыми почвами [9]. В исследованиях А.А. Конашенкова [10] влияние геохимических режимов на эффективность органо-минеральной системы удобрения в пределах водно-ледниковой равнины было слабовыраженным. При этом ведущую роль играла пространственная неоднородность почвообразующей породы и эффективного плодородия почвы.

Для изучения этого вопроса в 2013 г. в Меньковском филиале Агрофизического НИИ – АФИ (Гатчинский район Ленинградской области) заложен полевой ландшафтный опыт, целью которого была оценка вариантов оптимизации доз удобрений в разных ландшафтно-экологических условиях. Его закладке предшествовало детальное исследование почвенного покрова агроландшафта, результаты которого освещены в настоящей работе.

Методика. Объект исследования представлен исторически сложившимся урочищем «Кривое колено» на пологом склоне северо-западной и западной экспозиции площадью 53,64 га (в том числе 47,3 га пашни и 6,34 га сенокоса). Структура почвенного покрова сложная и контрастная, сформированная мелкоконтурными комплексами с участием легко- и среднесуглинистых разновидностей дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв [11]. Почвообразующая порода – преимущественно мало- и среднемогучая тяжело-суглинистая и глинистая морена, подстилаемая с глубины 70-130 см озерно-ледниковой супесью. Коренные породы – красноцветные девонские пески. На пашне преобладают почвы средней окультуренности с пятнами хорошо и слабоокультуренных.

В пределах территории агроландшафта подобрано пять типичных ключевых участков для закладки ландшафтного полевого опыта. Они представляли фации или агромикрорландшафты (АМЛ), различающиеся литогенной основой и геохимическим режимом: № 1 – элювиальный на дерново-слабоподзолистой глееватой среднесуглинистой почве, сформированной на мало- и среднемогучей тяжелосуглинистой морене; № 2 – элювиально-аккумулятивный на дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве, сформированной на среднемогучей глинистой морене; № 3 – транзитивно-элювиальный на дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой смытой почве, сформированной на мало- и среднемогучей глинистой морене; № 4 – аккумулятивный на дерново-слабоподзолистой глееватой остаточно-карбонатной среднесуглинистой почве, сформированной на маломощной карбонатной глинистой морене; № 5 – аккумулятивный на дерново-подзолистой глеевой среднесуглинистой

Табл. 1. Средняя мощность генетических горизонтов почв агроландшафта

Генетический горизонт (слой)	Показатели мощности горизонтов						
	по агромикрорландшафтам, см					по агроландшафту	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	\bar{x} , см	V, %
A _{max}	23±1	23±2	23±1	23±2	23±2	23	0
A ₁ (A _{1g})	12±4	9±2	4±3	14±2	10±2	10	38
A ₁ A ₂ (A ₁ A _{2g})	13±5	16±3	0	0	13±2	8	92
A ₂ B (A ₂ Bg)	11±3	10±2	18±4	17±3	3±2	12	51
B + BC (Bg + BCg)	44±8	69±7	61±7	38±4	23±3	47	39
Весь профиль	103±6	127±12	106±8	92±6	72±6	100	20

почве, сформированной на маломощной глинистой морене. Доля этих АМЛ в общей площади агроландшафта составляла соответственно 17, 8, 49, 18 и 8 %. В пределах каждого агромикрорландшафта в зависимости от его площади заложено 3-8 почвенных разрезов (в среднем по 1 разрезу на 1,4 га площади агроландшафта). Почвенные образцы из A_{max} и генетических горизонтов отбирали почвенным ножом в 10 точках по стенке ямы.

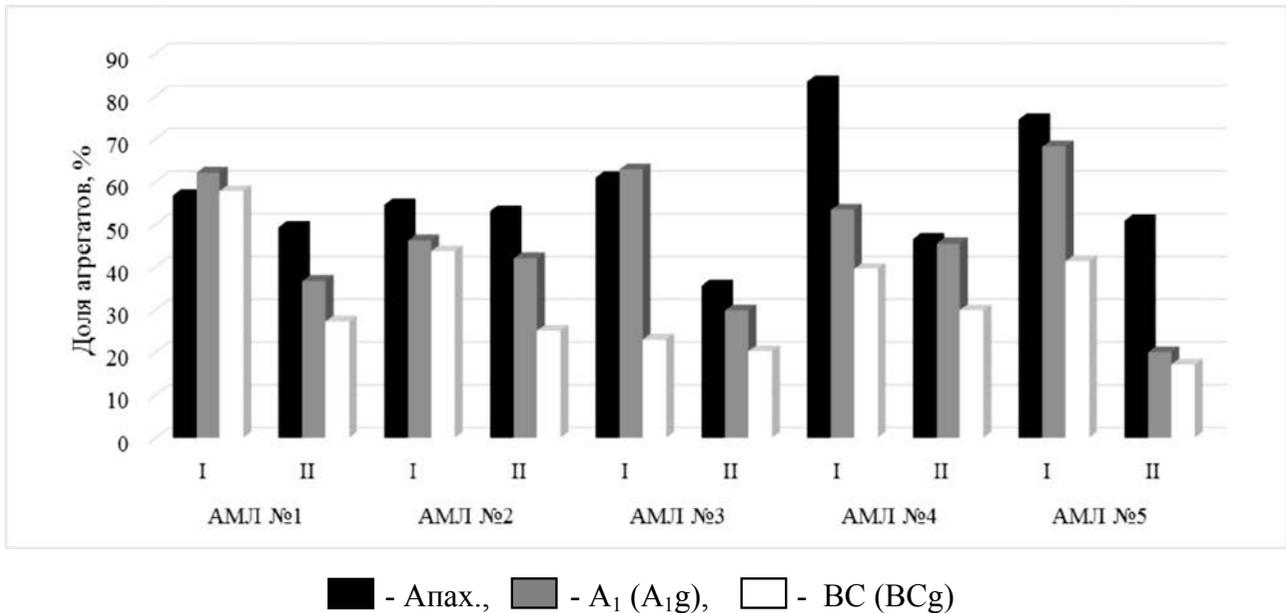
Почвенные анализы выполняли по соответствующим стандартным методикам в аккредитованной испытательной лаборатории и лаборатории методологии опытного дела АФИ в 3-кратной повторности. Результаты подвергали статистической обработке с представлением среднего значения и его доверительного интервала ($\bar{x} \pm 2S_{\bar{x}}$), а также коэффициента вариации (V) [12].

Результаты и обсуждение. Несмотря на единую историю хозяйственного использования пашни урочища «Кривое колено» (в рамках одного из полей полевого севооборота), установлена существенная дифференциация большинства изучаемых свойств почвы по агромикрорландшафтам. Она прослеживалась уже в морфологическом строении почвенного профиля (табл. 1). Практически одинаковой была лишь мощность пахотного слоя. Мощность залегающего под пахотным гумусового горизонта (A₁) изменялась от 4 см в пределах транзитивно-элювиального АМЛ № 3 (смытая дерново-подзолистая почва) до 14 см в аккумулятивном АМЛ № 4 (остаточно-карбонатная дерново-подзолистая почва). Заметно различались по мощности и переходные горизонты (A₁A₂ и A₂B), и соответственно почвенные профили в целом. Процесс оглеения отмечен в профиле почвы на глубине 23-60 см. И если в элювиальных фациях он встречался преимущественно в виде марганцево-железистых новообразований, то в аккумулятивном АМЛ № 5 – в выраженном глеевом горизонте.

О влиянии на почвообразовательный процесс ландшафтных условий можно судить и по характеру трансформации гранулометрического состава по профилю почвы (табл. 2). Минимальные относительно материн-

Табл. 2. Гранулометрический состав почвы агроландшафтов

Генетический горизонт (слой)	Содержание физической глины (над чертой) и ила (под чертой) по элементам агроландшафта, %						
	по агромикрорландшафтам					по агроландшафту	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	\bar{x}	V, %
A _{max}	<u>33,4±1,3</u> 12,4±0,9	<u>28,7±1,6</u> 11,1±1,0	<u>28,1±4,2</u> 9,5±2,3	<u>29,6±2,0</u> 10,8±1,1	<u>28,9±1,4</u> 10,4±0,7	29,7 10,8	7 10
A ₁ (A _{1g})	<u>36,1±2,3</u> 11,8±0,9	<u>34,8±1,8</u> 12,6±1,4	<u>36,8±3,9</u> 11,8±1,9	<u>32,7±1,7</u> 9,9±0,8	<u>33,5±1,8</u> 17,2±1,3	34,8 12,7	5 22
A ₁ A ₂ , A ₂ B (A ₁ A _{2g} , A ₂ Bg)	<u>39,9±2,2</u> 19,5±1,2	<u>35,2±1,8</u> 11,6±0,9	<u>55,8±6,6</u> 32,3±4,5	<u>44,1±2,2</u> 22,4±1,7	<u>49,6±2,9</u> 30,7±2,2	44,9 23,3	18 36
BC (BCg)	<u>47,2±2,5</u> 29,2±1,5	<u>57,1±2,3</u> 33,1±1,8	<u>63,4±8,0</u> 30,5±3,9	<u>61,2±4,7</u> 33,8±3,3	<u>64,4±3,8</u> 35,7±3,1	58,7 32,5	12 8
D	<u>13,8±0,8</u> 5,2±0,6	<u>16,4±0,6</u> 5,6±0,4	<u>15,8±0,9</u> 4,2±0,7	<u>13,6±0,6</u> 3,7±0,4	<u>11,9±0,8</u> 3,5±0,6	14,3 4,4	13 21



Структурное состояние почвы объектов исследования; I – агрегаты размером 0,25-10 мм, II – водопрочные агрегаты.

ской породы потери пахотным горизонтом илестых частиц и в целом фракции физической глины были присущи элювиальной фации агроландшафта с более выраженным поверхностным стоком воды – соответственно 56 и 29 %. На тяжелосуглинистой морене сформировалась почва среднесуглинистого гранулометрического состава, в то время как на территории других фаций с глинистой материнской породой – более легкие почвы. При этом за счет усиления внутрпочвенного стока воды потери илестых частиц возрастали до 65-71 %, физической глины – до 52-56 %. Его перераспределение в условиях выраженного мезо- и микрорельефа стало основной причиной увеличения с 10 до 36 % коэффициента вариации содержания илестых частиц в пределах элювиальных горизонтов и их мощности до 51-92 %.

Структурное состояние почвы агроландшафта в целом может характеризоваться как хорошее (рис.), чему способствовало возделывание многолетних трав в предшествующий исследованию период. Лучшие его показатели свойственны почве пахотного слоя в пределах аккумулятивных фаций агроландшафта. Степень водопрочности структурных агрегатов была заметно меньше у эродированной почвы транзитно-элювиального АМЛ № 3. Пахотный слой аккумулятивных и элювиально-аккумулятивной фаций агроландшафта обладал лучшим структурным состоянием, чем подпахотная часть гумусового горизонта. Это различие (в 2,5 раза) относительно доли водопрочных агрегатов было особенно заметно у дерново-подзолистой глеевой почвы АМЛ № 5, горизонт А, которой затронут глеевым процессом. У почвы элювиальной и транзитно-элювиальной фаций агроландшафта зависимость была противоположной. Такую закономерность отчасти можно объяснить разным содержанием в этих горизонтах органического вещества и обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺.

В дифференциации агрохимических свойств почвы большое значение, наряду с ландшафтными условиями, имеет хозяйственная деятельность человека. В первую очередь это касается физико-химических свойств, содержания гумуса и подвижного калия. Материнские породы всех АМЛ (кроме АМЛ № 4) имели рН_{ксл} 3,5-4,9 и содержали в 1 кг около 60 мг К₂О. Оптимизация кислотно-основного, гумусного и калийного состояния верхних горизонтов почвы в прошлом достигалась регулярным применением высоких доз известковых, органических и калийных удобрений. К настоящему времени положительные последствия уровня химизации в разной степени утрачены как вследствие невосполнения продуктивных потерь элементов питания, так и протекания геохимических процессов их миграции [13,14]. В частности, содержание подвижного калия в почве пахотного слоя приблизилось к показателям материнской породы (табл. 3).

Запасы валового азота концентрируются в верхней части почвенного профиля, поскольку до 99 % его сосредоточено в составе органического вещества [15,16]. Однако отсутствие устойчивой корреляции между этими показателями указывает на разное содержание азота в составе органического вещества почвы в отдельных фациях агроландшафта (от 4,5 % в АМЛ № 5 до 5,8 % в АМЛ № 3). Минеральные соединения азота отмечены по всему почвенному профилю, а в аккумулятивных фациях ландшафта – в значительных концентрациях даже в подстилающей породе.

В отличие от подвижного калия содержание в пахотном слое почвы подвижных фосфатов оставалось высоким, несмотря на острый дефицит хозяйственного баланса элемента в предшествующее исследованию двадцатилетие. Такая закономерность типична для трансформации фосфатного состояния в прошлом зафосфаченных дерново-подзолистых почв [14,17,18]. Дополнительным стабилизирующим фактором в дан-

Табл. 3. Физико-химические и агрохимические свойства почвы

Горизонт (слой)	pH _{ксл}	Hг	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Органическое вещество	N _{вал.}	N _{мин.}	P ₂ O ₅ _{подв.}	K ₂ O _{подв.}
		смоль/кг		%		мг/кг		
АМЛ №1								
A _{пах.}	5,53±0,73	2,75±0,89	3,88±2,29	5,36±4,87	0,25±0,18	18±3	185±116	94±29
A ₁	6,00±0,52	2,14±0,37	4,23±2,17	3,19±2,11	0,24±0,19	17±3	229±109	66±11
A ₁ A ₂	5,48±0,39	1,09±0,16	1,45±0,73	1,67±0,72	0,03±0,01	6±2	159±57	50±11
BCg	4,71±0,22	1,42±0,16	1,88±0,26	0,07±0,03	0,02±0	5±1	174±21	61±8
D	4,44±0,17	0,86±0,06	1,92±0,21	0,03±0,01	0,02±0	5±1	143±25	30±5
АМЛ №2								
A _{пах.}	5,14±0,17	3,27±0,29	3,85±0,44	3,27±1,06	0,16±0,03	16±3	206±48	87±14
A ₁	5,62±0,20	1,66±0,24	3,54±0,39	2,95±0,57	0,13±0,03	8±2	197±53	57±10
A ₂ B	4,70±0,15	2,07±0,20	3,15±0,51	0,93±0,18	0,05±0,1	6±2	54±53	81±11
BCg	4,23±0,15	2,92±0,15	2,20±0,35	0,11±0,04	0,04±0	5±2	147±30	55±9
D	4,87±0,16	0,65±0,12	2,26±0,18	0,05±0,02	0,01±0	5±1	290±41	35±7
АМЛ №3								
A _{пах.}	5,24±0,49	2,80±0,67	4,08±1,88	2,78±1,39	0,16±0,13	13±2	211±190	81±32
A ₁	5,33±0,36	3,40±0,35	4,40±2,11	2,06±0,92	0,08±0,06	13±3	157±102	34±5
A ₂ Bg	4,88±0,27	2,43±0,29	1,87±0,67	0,73±0,15	0,06±0,02	9±2	162±74	44±6
BCg	4,39±0,19	2,45±0,23	2,86±0,50	0,09±0,03	0,03±0,01	6±1	157±45	63±7
D	4,50±0,17	1,61±0,08	2,58±0,24	0,04±0,01	0,02±0	6±1	209±33	23±5
АМЛ №4								
A _{пах.}	5,28±0,14	2,41±0,34	4,67±0,39	3,89±0,91	0,19±0,04	26±5	208±36	63±11
A ₁	5,65±0,18	2,25±0,28	4,51±0,46	3,13±0,71	0,17±0,03	22±4	186±41	34±8
A ₂ Bg	5,91±0,22	2,57±0,16	4,03±0,32	1,09±0,21	0,09±0,01	13±3	85±20	28±4
BCg _{ca}	6,24±0,21	1,18±0,18	3,97±0,29	0,22±0,07	0,05±0,01	14±3	169±46	20±4
D	5,74±0,19	0,59±0,09	2,88±0,26	0,07±0,02	0,02±0	12±3	218±40	23±5
АМЛ № 5								
A _{пах.}	4,83±0,13	3,51±0,35	3,68±0,47	3,55±0,73	0,16±0,04	23±6	198±32	97±18
A _{1g}	4,65±0,17	4,18±0,39	2,99±0,35	2,88±0,61	0,18±0,04	17±6	214±25	99±16
A ₁ A _{2g}	4,32±0,18	3,19±0,27	3,24±0,33	1,37±0,34	0,11±0,03	11±3	96±32	81±19
BCg	3,91±0,15	3,95±0,17	3,21±0,24	0,28±0,05	0,09±0,01	12±2	115±35	61±8
D	4,10±0,15	2,35±0,10	1,60±0,19	0,06±0,01	0,06±0,01	14±2	145±42	56±8
Агроландшафт								
A _{пах.}	5,20±0,51	2,95±0,88	4,03±0,77	3,77±1,95	0,18±0,08	19±11	202±21	84±27
A ₁	5,45±1,01	2,73±2,07	3,93±1,30	2,84±0,91	0,16±0,12	15±10	197±55	58±54
A ₁ A ₂ , A ₂ B	5,06±1,27	2,27±1,55	2,75±2,12	1,16±0,74	0,07±0,06	9±6	111±95	57±47
BCg	4,70±1,82	2,38±2,26	2,82±1,66	0,15±0,18	0,05±0,05	8±9	152±47	52±36
D	4,73±1,25	1,21±1,51	2,25±1,02	0,05±0,03	0,03±0,04	8±9	201±122	33±27

ном случае служила относительная насыщенность подвижными соединениями фосфора не только материнской, но и подстилающей породы.

В целом дифференциацию агрохимических свойств почвы по отдельным агромикрорландшафтам можно оценить как умеренную. Все показатели почвы пахотного слоя находятся в пределах одной-двух классификационных агрохимических групп, а коэффициенты их пространственной вариации – в пределах 5-25 %. Основным фактором варьирования свойств почвы в агроландшафте – неоднородность моренной почвообразующей породы, оцениваемая по показателям физико-химических и агрохимических свойств 19-59 %. Природно-антропогенный почвообразовательный процесс позволил сократить в 2,6 раза средний коэффициент вариации этих свойств в пределах пахотного слоя (с 36 % в почвообразующей породе до 14 % в $A_{\text{пах}}$).

Оценка пространственной неоднородности свойств почвы внутри относительно однородных по геохимическим режимам фаций выявила доминирование антропогенного фактора ее формирования в отдельных агромикрорландшафтах. Так, в элювиальной фации коэффициент вариации содержания в почве органического вещества, азота, фосфора, обменных соединений кальция и магния и подвижных соединений фосфора достигает 30-46 %. Это стало следствием неравномерного внесения органических удобрений при регулярном размещении в предшествующие годы в пределах части фации буртов навоза и торфо-навозного компоста [10]. В аккумулятивных фациях аналогичные показатели имели в среднем втрое меньшее значение. Неоднородность этих свойств увеличивал в 1,3-1,9 раза и процесс плоскостной эрозии в пределах транзитно-элювиальной фации.

Таким образом, в условиях склона на пологоволнистой озерно-ледниковой равнине почвенный покров сравнительно не крупного пахотного контура характеризовался существенной гетерогенностью, обусловленной различием по мощности и составу моренных отложений, характеру геохимических и в целом почвообразовательных процессов, а также по интенсивности антропогенного воздействия. Ведущим фактором дифференциации комплекса физических, физико-химических и агрохимических свойств почвы выступает неоднородность моренной почвообразующей породы, достигающая в среднем 36%. Природно-антропогенный почвообразовательный процесс сократил этот показатель в 2,6 раза в пределах пахотного слоя. Поскольку в настоящее время в качестве основной информации при оптимизации доз удобрений используются главным образом группу показателей физико-химических и агрохимических свойств почвы, совершенствование систем удобрения на основе ландшафтных карт потребует разработки новых методических подходов, гарантирующих повышение их окупаемости.

Литература.

1. Архитов М.В. и др. Оценка биопотенциала

- производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. – СПб.-Пушкин, 2016. – 136 с.
2. Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., Поляков В.А. Научные основы и технологии использования удобрений и известки. – СПб, 1997. – 52 с.
 3. Шпаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П. Точное сельское хозяйство. – СПб – Пушкин, 2009. – 397 с.
 4. Кирюшин В.И. Точные агротехнологии как высшая форма интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. – 2004. – № 6. – С. 16-21.
 5. Кирюшин В.И., Иванов А.Л. и др. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
 6. Иванов А.Л., Державин Л.М. и др. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. – М.: Минсельхоз, Россельхозакадемия, 2008. – 392 с.
 7. Каушанов А.Н. и др. Развитие технологий, методов и средств точного земледелия. – М.: ООО «11 формат», 2006. – 58 с.
 8. Ковалёв Н.Г., Ходырев А.А., Иванов Д.А., Тюлин В.А. Агроландшафтоведение. – М. – Тверь, 2004. – 492 с.
 9. Каушанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агрохимия почв склонов. – М.: Колос, 1997. – 316 с.
 10. Конашиенков А.А. Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России. Дисс. ... д-ра с.-х. наук. – СПб., 2014. – 368 с.
 11. Моисеев К.Г., Зинчук Е.Г. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. – 2014. – № 3. – С. 8-17.
 12. Минеев В.Г. и др. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
 13. Иванов А.И., Иванов И.А., Воробьев В.А., Лямцева Е.Г. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21-26.
 14. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьев В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2016. – № 4. – С. 10-17.
 15. Ларионова Н.В. Азотный режим дерново-подзолистых почв Северо-Востока Нечернозёмной зоны РСФСР // Агрохимия. – 1991. – № 5. – С. 10-16.
 16. Сапожников Н.А. и др. Азот в земледелии Нечернозёмной полосы. – Л., Колос, 1973. – 332 с.
 17. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. – М.: Наука, 1995. – 286 с.
 18. Иванов А.И., Ильющенко В.В. Фосфатный режим хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его трансформация в современных условиях // Доклады Россельхозакадемии. – 2000. – № 2. – С. 23-25.

Поступила в редакцию 05.09.18
Принята к публикации 05.10.18