

Варьирование и динамика почвенных свойств чернозема обыкновенного Саратовской области

Максим Анатольевич Ларькин, Денис Иванович Губарев,
Михаил Юрьевич Несветаев, Андрей Андреевич Вайгант

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия
e-mail: deneg2@yandex.ru

Аннотация. На основе данных агрохимического обследования с использованием ГИС-технологий на тестовом полигоне № 2 в 2009–2016 гг. в рамках общей схемы почвенно-экологического мониторинга Саратовской области проведена оценка динамики и пространственной вариации почвенных свойств чернозема обыкновенного в зависимости от крутизны и экспозиции склона. Почвенно-агрохимические характеристики в условиях выраженного рельефа демонстрируют определенную зависимость от места расположения и весьма изменчивы во времени. Отбор почвенных проб на площади более 2000 га с применением навигационного оборудования позволил получить агрохимические картограммы в ГИС и проанализировать их с помощью зональной статистики с учетом цифровой модели рельефа. Пространственная вариабельность почвенных свойств зачастую ниже на выровненных участках либо коротких транзитных участках склона, максимальная же вариабельность отмечена на более крутых склонах. Наибольшие значения показателей характерны для плоских водораздельных поверхностей, являющихся наиболее плодородными, однако максимально близкая взаимосвязь гумуса с другими агрохимическими показателями отмечена на более крутых склонах. Вариабельность показателей плодородия на разнонаправленных склонах находилась в пределах 28–36 % – для P_2O_5 , 20 % – для K_2O , 4–6 % – для pH. Наибольшие различия вариабельности полярных склонов по турам обследования отмечаются для содержания в почве гумуса. В 2009 г. коэффициент вариации составил 19 и 30 %, а в 2016 г. – 11 и 24 % на склоне северной и южной экспозиции соответственно. Ретроспективный анализ показал, что наибольшие темпы снижения отмечены для содержания в почве гумуса и реакции среды на слабопокатых склонах (в 2 и 1,5 раза соответственно) относительно изменения в среднем по массиву. Для подвижных форм фосфора и калия максимальное снижение отмечалось на пологих склонах.

Ключевые слова: варьирование показателей плодородия; динамика плодородия; крутизна склона; экспозиция склона.

Для цитирования: Ларькин М. А., Губарев Д. И., Несветаев М. Ю., Вайгант А. А. Варьирование и динамика почвенных свойств чернозема обыкновенного Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 47–53. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp47-53>.

AGRONOMY

Original article

Variation and dynamics of soil properties of ordinary chernozem in the Saratov region

Maxim A. Larkin, Denis I. Gubarev, Mikhail Yu. Nesvetayev, Andrey A. Vaigant

Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region», Saratov, Russia
e-mail: deneg2@yandex.ru

Abstract. Based on data from an agrochemical survey using GIS technologies at test site No. 2 in 2009–2016 within the framework of the general scheme of soil-ecological monitoring of the Saratov region, an assessment was made of the dynamics and spatial variation of soil properties of ordinary chernozem, depending on the steepness and exposure of the slope. Soil and agrochemical characteristics in conditions of a pronounced relief demonstrate a certain dependence on the location and are very variable over time. Soil sampling on an area of more than 2000 hectares using navigation equipment made it possible to obtain agrochemical cartograms in GIS and analyze





them using zonal statistics, taking into account a digital elevation model. The spatial variability of soil properties is often lower in leveled areas or short transition sections of the slope, while the maximum variability is noted on steeper slopes. The highest values of indicators are typical for flat watershed surfaces, which are the most fertile, however, the closest relationship between humus and other agrochemical indicators was noted just on steeper slopes. The variability of fertility indicators on differently directed slopes was within 28–36 % for P_2O_5 , 20 % for K_2O , and 4–6 % for pH. The greatest differences in the variability of the polar slopes along the survey tours are noted for the content of humus in the soil. In 2009, the coefficient of variation was 19 and 30 %, and in 2016, 11 and 24 % on the slope of the northern and southern exposure, respectively. A retrospective analysis showed that the highest rates of decline were noted for the content of humus in the soil and the reaction of the environment on gently sloping slopes (by 2 and 1.5 times, respectively) relative to the average change in the massif. For mobile forms of phosphorus and potassium, the maximum decrease was noted on gentle slopes.

Keywords: variation of fertility indicators; fertility dynamics; slope steepness; slope exposure.

For citation: Larkin M. A., Gubarev D. I., Nesvetayev M. Yu., Vaigant A. A. Variation and dynamics of soil properties of ordinary chernozem in the Saratov region // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(10):47–53. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp47-53>.

Введение. Для сельского хозяйства наиболее актуален локальный уровень неоднородности почвенного покрова, проявляющийся на относительно небольших по площади территориях с одним почвенным разрядом и обусловленный рельефом и микрорельефом, мощностью и формой границ почвенных горизонтов и др. [4].

Распределение почвенных свойств главным образом определяется морфологическими особенностями ландшафта, на котором расположены сельскохозяйственные угодья. Рельеф, являясь одним из факторов, в большей степени воздействующим на протекание различных природных процессов почвообразования, влияет на перераспределение влаги и показателей плодородия [9, 11].

Варьирование почвенно-агрохимических показателей на выровненных плоских поверхностях поля обычно менее выражено по сравнению со склоновыми участками [6]. Поэтому целью исследований было выявление динамики и степени варьирования основных почвенных показателей в зависимости от крутизны и экспозиции склона. Полевые исследования, являющиеся частью многолетних исследований почвенно-экологического состояния Саратовских сельскохозяйственных земель, проведены на тестовом полигоне № 2 в Аткарском районе.

Методика исследований. В почвенном покрове Саратовской области чернозем обыкновенный занимает наибольшую площадь (24 %). Основные массивы анализируемого подтипа почвы размещаются на Донской равнине и Приволжской возвышенности. На территории землепользования, где также доминирует чернозем обыкновенный, на площади более 2000 га проводилось почвенно-агрохимическое обследование в 2009 и 2016 гг. Отбор почвенных проб проводился с привязкой координат при помощи GPS-навигатора. Смешанная проба почвы отбиралась с площади 5 га. Определение в почве содержания органического вещества осуществляли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подвижных форм фосфора и калия по Мачигину (ГОСТ 26205-91), $pH_{вод}$ в почвенных образцах – потенциометрическим методом на иономере по ГОСТ 26423-85. Полученные в результате почвенного обследования результаты были использованы при анализе распределения элементов плодородия по полю. Для исследования выбран массив на площади 1300 га, включающий плоские поверхности и склоны различной крутизны и экспозиции. В качестве дополнительных материалов привлечены данные с цифровой модели рельефа, полученной в результате дистанционного зондирования земли, и топографической съемки местности. При проведении пространственной оценки параметров плодородия также были проанализированы участки с различной геоморфологической выраженностью территории полей. Для анализа массивы полей с помощью использования зональной статистики были разделены по полярным экспозициям, а также по крутизне склонов на плоские поверхности (0–1°), очень пологие и пологие склоны (1,1–3,0°), слабопокатые склоны (3,1–5°) (по М.Н. Заславскому). Агрохимические картограммы подготовлены в программных продуктах ArcView и ArcMap. Построение трёхмерной модели выполнено в программе QGIS.

Результаты исследований. По многочисленным исследованиям отечественных и зарубежных ученых, рельеф, наряду с подстилающими породами, является главным агентом почвообразования. В результате действия талых и ливневых вод на Приволжской возвышенности, имеющей



столь выраженный рельеф, увеличивается смыв прежде всего глинистых механических частиц (от 0,01 мм и мельче), что самым негативным образом отражается на содержании элементов питания растений в почве [2, 3, 5, 7, 8].

В наших исследованиях проведено определение вариабельности агрохимических показателей как внутри одного поля, так в общем массиве. Использование данных двух туров обследования позволило оценить их динамику в выявленных зонах.

Пространственная вариабельность гумуса зачастую ниже на выровненных участках либо коротких транзитных участках склона, максимальная же вариабельность отмечена на более крутых склонах [10]. От характера рельефа зависит и величина неоднородности у подвижных форм фосфора и калия. Увеличение длины склона приводит к большей вариабельности ввиду неравномерного распределения почвенных частиц разного размера, степени смывости почвы [1]. Также степени вариабельности способствует увеличение диапазона в содержании элемента, что больше характерно для выровненных участков. Это же относится и к pH среды.

Анализ всего массива данных по тестовому полигону также подтверждает высказанное предположение (табл. 1).

Таблица 1

Статистические параметры агрохимических показателей почвы в зависимости от крутизны склонов

Тестовый полигон № 2	2009 г.				2016 г.			
Уклон, °	0–1,0° (n = 118)	1,1–3,0° (n = 79)	3,1–5,0° (n = 68)	Среднее по массиву (n = 265)	0–1,0° (n = 118)	1,1–3,0° (n = 79)	3,1–5,0° (n = 68)	Среднее по массиву (n = 265)
Гумус, %								
$\bar{x}$	5,5	5,4	4,9	5,3	5,0	4,3	3,3	4,5
S	1,0	1,2	1,1	1,1	0,4	0,9	0,7	0,9
V, %	18,9	21,4	22,7	21,0	8,8	19,9	20,6	19,3
min	3,9	3,6	2,0	2,0	4,0	3,5	2,3	2,3
max	7,8	7,3	6,8	7,8	6,0	5,8	4,4	6,0
P ₂ O ₅ , мг/кг								
$\bar{x}$	18,3	17,5	19,9	18,5	22,1	14,8	18,5	19,3
S	5,1	5,7	7,3	6,0	5,2	4,6	9,1	6,6
V, %	28,1	32,8	36,8	32,4	23,6	31,0	49,3	34,1
min	8,0	9,0	8,0	8,0	10,0	11,8	10,8	10,0
max	34,2	36,0	42,0	42,0	36,4	24,0	41,0	41,0
K ₂ O, мг/кг								
$\bar{x}$	394,4	372,2	343,1	374,6	356,6	287,2	271,0	321,9
S	67,1	60,8	74,1	70,1	61,7	47,1	55,0	67,5
V, %	17,0	16,3	21,6	18,7	17,3	16,4	20,3	21,0
min	225,0	240,0	200,0	200,0	235,0	229,0	200,0	200,0
max	530,0	515,0	510,0	530,0	538,0	450,0	420,0	538,0
pH								
$\bar{x}$	6,2	6,0	6,2	6,2	6,0	5,7	5,6	5,8
S	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4
V, %	4,4	6,2	6,5	5,7	5,8	4,7	3,1	6,0
min	5,5	5,6	5,4	5,4	5,3	5,4	5,4	5,3
max	6,8	6,8	7,2	7,2	6,6	6,3	5,9	6,6

Примечание. $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение; S – среднеквадратичное отклонение; V – коэффициент вариации.

Максимальная вариабельность и большой разброс значений характерны для участков склонов 3,1–5,0°. Наибольшие значения показателей характерны для плоских водораздельных поверхностей, являющихся наиболее плодородными.

Несмотря на это максимально близкая взаимосвязь гумуса с другими агрохимическими показателями отмечена как раз на более крутых склонах (табл. 2).

Корреляционная матрица и средние значения содержания гумуса и основных агрохимических параметров в почве в зависимости от крутизны склона

Год	Показатель	0–1,0° (n = 118)		1,1–3,0° (n = 79)		3,1–5,0° (n = 68)		Среднее по массиву (n = 265)	
		r		r		r		r	
2009	Гумус, %		5,5		5,4		4,9		5,3
	P ₂ O ₅ , мг/кг	0,31	18,3	0,56	17,5	0,44	19,9	0,38	18,6
	K ₂ O, мг/кг	–0,52	394,4	–0,56	372,2	0,72	343,1	–0,1	369,9
	pH	0,17	6,2	0,66	6	0,55	6,2	0,41	6,2
2016	Гумус, %		5		4,3		3,3		4,2
	P ₂ O ₅ , мг/кг	0,32	22,1	0,76	14,8	0,15	18,5	0,44	18,5
	K ₂ O, мг/кг	0,11	356,6	0,35	287,2	0,62	271	0,51	304,9
	pH	–0,06	6	–0,02	5,7	0,34	5,6	0,35	5,8

Выраженный рельеф местности тестового полигона № 2 приводит к смещению зависимости содержания в почве гумуса с показателями плодородия с пологих участков на склоновые территории. Направление и скорость эрозионных процессов приводят к перераспределению агрохимических свойств (рис. 1).



Рис. 1. Трехмерная модель распределения содержания гумуса на поле

Так, если в середине склона наблюдается транзитный характер перераспределения элементов питания, то к его подножию зачастую наблюдаются аккумуляционные процессы. С увеличением крутизны склона эти процессы усугубляются, что приводит к увеличению вариабельности агрохимических свойств почвы (рис. 2).

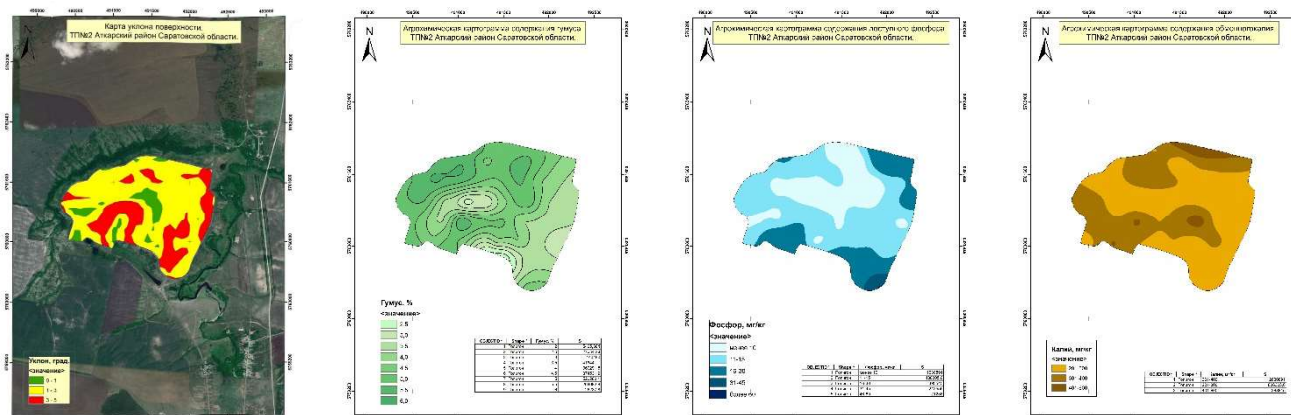


Рис. 2. Карта уклонов поверхности и агрохимические картограммы содержания гумуса и подвижных форм фосфора и калия

В целом высокая корреляционная зависимость содержания гумуса в почве с остальными агрохимическими параметрами позволяет использовать его в качестве индикационного показателя уровня плодородия почвы.





С изменением рельефа от выраженного к менее выраженному происходит перераспределение как фракций «физического песка», так и фракций «физической глины». Характер этого перераспределения будет зависеть от многих морфометрических свойств.

Статистический анализ полученных агрохимических показателей участков полей склонов северной и южной экспозиций показал их высокую изменчивость (табл. 3). Вариабельность показателей плодородия на разнонаправленных склонах составляла 28–36 % для P_2O_5 , 20 % – для K_2O , 4–6 % – для pH.

Таблица 3

Статистические параметры агрохимических показателей почвы в зависимости от экспозиции склонов

Тестовый полигон № 2	2009 г.			2016 г.		
Гумус, %						
	*ССЭ (n = 84)	**СЮЭ (n = 46)	Среднее по массиву	ССЭ (n = 84)	СЮЭ (n = 46)	Среднее по массиву
$\bar{x}$	5,4	4,9	5,2	4,9	4,5	4,7
S	1,0	1,5	1,2	0,6	1,1	0,9
V, %	19,0	30,0	23,3	11,2	24,4	18,2
min	3,6	2,0	2,0	3,4	2,3	2,3
max	7,3	7,8	7,8	5,8	6,0	6,0
P ₂ O ₅ , мг/кг						
$\bar{x}$	17,2	17,2	17,2	19,9	20,9	20,4
S	5,7	6,2	5,9	5,7	5,9	5,8
V, %	33,3	36,3	34,2	28,6	28,1	28,2
min	9,0	8,0	8,0	10,0	10,8	10,0
max	34,2	42,0	42,0	32,7	36,4	36,4
K ₂ O, мг/кг						
$\bar{x}$	370,9	338,4	359,4	339,8	308,3	325,5
S	70,9	73,6	73,3	73,8	57,3	68,1
V, %	19,1	21,7	20,4	21,7	18,6	20,9
min	225,0	200,0	200,0	227,0	200,0	200,0
max	530,0	475,0	530,0	538,0	423,0	538,0
pH						
$\bar{x}$	6,1	6,2	6,1	5,8	5,9	5,9
S	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
V, %	4,9	5,3	5,0	5,8	6,3	6,0
min	5,4	5,6	5,4	5,3	5,4	5,3
max	6,8	6,7	6,8	6,5	6,6	6,6

*ССЭ – склон северной экспозиции; **СЮЭ – склон южной экспозиции.

Наибольшие различия вариабельности полярных склонов отмечаются для содержания в почве гумуса. В 2009 г. коэффициент вариации составил 19 и 30 %, а в 2016 г. – 11 и 24 % на склоне северной и южной экспозиции соответственно.

Обеспеченность подвижными формами фосфора для всего полигона находится на среднем уровне, при этом его дифференциация не зависела от расположения по полярным склонам, а коэффициент вариации был довольно высоким на протяжении всех туров обследования. Распределение данного показателя плодородия в большей степени зависело от расположения по склону и его крутизны, а не от экспозиции склона. По содержанию подвижного калия на полярных склонах отмечены различия. На склонах северной экспозиции наблюдается его максимальное содержание в почве, а также выше среднее значение. Из-за высокой пестроты изучаемого полигона по этому показателю коэффициент вариации остается высоким на обеих экспозициях, мало изменяясь во времени. Значительное снижение подвижного калия в почве происходит при увеличении крутизны склонов. Незначительными были изменения pH почвы. Особенности полярных склонов практически не оказали влияние на вариабельность



этого показателя, в то время как при увеличении крутизны наблюдается рост показателя с 5,7 до 5,9.

Наиболее гумусированные почвы склонов северной экспозиции обладают лучшими агрономическими свойствами. Коэффициент вариации при этом на северном склоне составил в среднем по годам 15 %, на теплом склоне – 27 %, а среднее значение показателя на 0,5 % абс. выше.

Анализ полученной корреляционной матрицы показывает, что на склоне южной экспозиции по всем показателям отмечен средний уровень связи гумуса с агрохимическими показателями, тогда как на холодных склонах связь по некоторым показателям либо отсутствовала, либо была слабой и умеренной (табл. 4).

Ретроспективный анализ показал, что наибольшие темпы снижения отмечены для содержания в почве гумуса и реакции среды на слабопокатых склонах (в 2,0 и 1,5 раза соответственно) относительно изменения в среднем по массиву. На пологих склонах максимальное снижение отмечалось для подвижных форм фосфора и калия, в то время как на выровненных участках в целом произошло накопление фосфора. Изменения, произошедшие за 7 лет, не выявили существенного влияния экспозиции склона на плодородие.

Таблица 4

Корреляционная матрица и средние значения содержания гумуса в почве и основных агрохимических параметров в зависимости от экспозиции склона

Год	Показатель	ССЭ		СЮЭ		Среднее по массиву	
		<i>r</i>		<i>r</i>		<i>r</i>	
2009	Гумус, %		5,4		4,9		5,2
	P ₂ O ₅ , мг/кг	0,22	17,2	0,19	17,2	0,2	17,2
	K ₂ O, мг/кг	–0,4	370,9	0,44	338,4	0,01	359,4
	pH	0,08	6,1	0,45	6,2	0,22	6,1
2016	Гумус, %		4,9		4,5		4,7
	P ₂ O ₅ , мг/кг	0,56	19,9	0,57	20,9	0,49	20,4
	K ₂ O, мг/кг	0,31	339,8	0,57	308,3	0,45	325,5
	pH	0,23	5,8	0,54	5,9	0,35	5,9

Таким образом, выявлена дифференциация агрохимических показателей по изучаемому тестовому полигону. Степень изменчивости макроэлементов связана с разной интенсивностью эрозии на склонах северной и южной экспозиций, равно как и с их неодинаковой степенью уклона, и, как следствие, различающейся (притом весьма значительно) тепло- и влагообеспеченностью. Установлено, что почвы склонов южной экспозиции тестового полигона № 2 содержат питательных элементов больше, нежели почвы склонов северной экспозиции.

Анализ сплошного агрохимического мониторинга сквозь призму неоднородности микрорельефа позволяет использовать выводы, полученные в результате подобного исследования, в целях точного земледелия и ландшафтной агрохимии, а также для дальнейшего планирования технологических мероприятий и формирования новых рабочих участков внутри поля.

Заключение. В результате исследования были выявлены особенности распределения и варьирования почвенно-агрохимических параметров, наибольшие значения которых характерны для плоских водораздельных поверхностей (0–1,0°). Максимальная вариабельность и больший разброс значений характерны для участков склонов 3,1–5,0°, при этом там же отмечена наибольшая коррелятивная связь содержания гумуса в почве с другими агрохимическими показателями, что позволяет использовать его в качестве индикационного показателя уровня плодородия почвы. Для склоновых участков более высокая связь содержания гумуса в почве с другими агрохимическими показателями сохраняется по турам обследования. Наибольшие различия вариабельности полярных склонов отмечаются для содержания в почве гумуса. В 2009 г. коэффициент вариации составил 19 и 30 %, а в 2016 г. – 11 и 24 % на склоне северной и южной экспозиции соответственно. На склоне южной экспозиции по всем пока-

зателям отмечен средний уровень связи гумуса с агрохимическими показателями, тогда как на холодных склонах связь по некоторым показателям либо отсутствовала, либо была слабой и умеренной. Наибольшие темпы снижения между турами обследования среди агрохимических показателей отмечены на слабопокатых склонах для содержания в почве гумуса и реакции среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров К. А., Медведев И. Ф., Губарев Д. И. Методические особенности качественной внутриполевой оценки пашни // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2014. № 4. С. 3–6.
2. Афанасьев Р. А., Сопов И. В., Галицкий В. В. Принципы и опыт дифференцированного применения удобрений с использованием фотометрии // Плодородие. 2008. № 6(45). С. 14–17.
3. Бабаян Л. А., Беляков А. М., Леонтьев В. В. Агропроизводственное использование обрабатываемых угодий на склонах Приволжской возвышенности. Волгоград, 2011. 91 с.
4. Витковская С. Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб., 2011. 52 с.
5. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Золотухин А. Н. Пространственная неоднородность показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах ЦЧР // Земледелие. 2021. № 7. С. 3–9. DOI 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9.
6. Захарян Ю. Г. Моделирование риска неурожая к пространственной неоднородности адаптации агротехнологических решений // Информация и космос. 2019. № 3. С. 116–119.
7. Рельефная структура агроландшафта, ее влияние на агрохимические показатели почвы, урожайность яровой пшеницы и эффективность удобрений / И.Ф. Медведев [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 11. С. 20–25.
8. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
9. Павлова А. И. Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа // Автометрия. 2017. Т. 53. № 2. С. 86–94. DOI 10.15372/AUT20170210.
10. Экологическая оценка уровня почво-агрохимического состояния пашни различных типов фаций внутри типов урочищ агроландшафта Приволжской возвышенности / И. Ф. Медведев [и др.] // Аграрный научный журнал. 2018. № 10. С. 26–29. DOI 10.28983/asj.v0i10.607.
11. McBratney A.B., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar M.S., Shatar T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey // Geoderma. 2000. Vol. 97. No. 3–4.

REFERENCES

1. Azarov K. A., Medvedev I. F., Gubarev D. I. Methodological features of qualitative in-field assessment of arable land. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2014; 4: 3–6. (In Russ.).
2. Afanasyev R. A., Sopov I. V., Galitsky V. V. Principles and experience of differentiated application of fertilizers using photometry. *Soil Fertility*. 2008; 6(45): 14–17. (In Russ.).
3. Babayan L.A., Belyakov A.M., Leontyev V.V. Agro-industrial use of cultivated land on the slopes of the Volga Upland. Volgograd, 2011. 91 p. (In Russ.).
4. Vitkovskaya S.E. Methods for assessing soil heterogeneity when planning and conducting field experiments. St. Petersburg, 2011. 52 p. (In Russ.).
5. Glazunov G.P., Afonchenko N.V., Zolotukhin A.N. Spatial heterogeneity of fertility indicators of chernozem soils in slope agrolandscapes of the Central Black Sea Region. *Agriculture*. 2021; 7: 3-9. DOI 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9. (In Russ.).
6. Zakharyan Yu. G. Modeling the risk of crop failure to spatial heterogeneity of adaptation of agrotechnological solutions. *Information and space*. 2019; 3: 116–119. (In Russ.).
7. The relief structure of the agricultural landscape, its influence on the agrochemical parameters of the soil, the yield of spring wheat and the effectiveness of fertilizers / I.F. Medvedev et al. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2013; 11: 20–25. (In Russ.).
8. Guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility on agricultural lands. Moscow, 2003. 240 p. (In Russ.).
9. Pavlova A.I. Analysis of methods for interpolating point heights to create digital terrain models. *Autometry*. 2017; 53; 2: 86–94. DOI 10.15372/AUT20170210. (In Russ.).
10. Ecological assessment of the level of soil-agrochemical state of arable land of various types of facies within the types of tracts of the agrolandscape of the Volga Upland / I. F. Medvedev et al. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018; 10: 26–29. DOI 10.28983/asj.v0i10.607. (In Russ.).
11. McBratney A.B., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar M.S., Shatar T.M. An over-view of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*. 2000; 97; 3–4.

Статья поступила в редакцию 14.03.2023; одобрена после рецензирования 23.04.2023; принята к публикации 30.04.2023.
The article was submitted 14.03.2023; approved after reviewing 23.04.2023; accepted for publication 30.04.2023.

