

УДК 631.423:631.41(470.333)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ*

© 2017 г. В.П. Самсонова¹, Д.Г. Кротов², Е.Ю. Лавринова²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1, Россия

E-mail: vkbun@mail.ru

² Брянский государственный аграрный университет
243365 Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а, Россия

E-mail: krotovd@mail.ru, katerina.lavrinova514@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2017 г.

Приведены сведения о размахе пространственной изменчивости агрохимических свойств почв отдельных угодий Брянской области. Показано, что показатели агрохимических свойств пахотного горизонта, определенные в объединенных образцах, отобранных на участках площадью 5 га, в основном имели нормальное распределение. Предложено оценивать качество угодья не только по средним показателям агрохимических свойств, но и по доле площади с неблагоприятными условиями, которую можно рассчитать по оценочным параметрам нормального распределения.

Ключевые слова: пространственная изменчивость, агрохимические свойства, сельскохозяйственное угодье, Брянская область.

DOI: 10.7868/S000218811707002X

ВВЕДЕНИЕ

Информация о качестве почвенного покрова сельскохозяйственных угодий является непременным условием выработки оптимальной стратегии получения продукции. Хотя угодья, как правило, размещаются на сравнительно однородных в почвенном отношении участках, тем не менее, внутри поля всегда существует более или менее выраженная неоднородность физических, химических и агрохимических свойств, которая может сказываться на продуктивности растений [1, 2].

При оценке качества почвы угодья по тому или иному показателю нужно учитывать две стороны пространственной изменчивости рассматриваемого свойства: 1 – ее диапазон и 2 – пространственную локализацию [3, 4]. Действительно, если изменения величин, например, содержания подвижного фосфора укладываются в рамки одной из градаций обеспеченности, информация о конкретных показателях будет излишней. Если

диапазон изменчивости превышает границы одной категории, можно оценить вероятность получения для угодья данных, выходящих за рамки градации. Если такая вероятность мала, ею можно пренебречь и качество угодья оценивать по основной совокупности данных. Очевидно, уровень вероятности учета данных, выходящих за рамки градации, также должен быть задан. Но если диапазон изменчивости показателя перекрывает две или даже три градации, встает вопрос: как в пределах поля расположены участки с контрастными показателями. В зависимости от их локализации стратегии обработок угодья могут быть разными. Если пространственная неоднородность такова, что резко контрастные показатели компактно расположены в пространстве, они могут быть выделены и соответствующим образом обработаны. При этом, конечно же, необходимо учитывать, что размер выделяемого участка должен допускать возможность обработок. В случае, если контрастные участки сменяют друг друга на малых расстояниях, все воздействия необходимо применять к угодью в целом, а его качество будут определять участки с наиболее низким качеством.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-44-320069-16.

Таблица 1. Статистические характеристики агрохимических свойств почв обследованных полей

Код поля	Количество смешанных проб	рН			Гумус, %			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		мг/кг									1	2	3
		1	2	3	1	2	3	1	2	3			
m1	70	5.96	4.87	7.41	1.49	0.79	4.18	251	112	764	170	81	468
m2	9	5.52	4.87	6.08	1.73	1.39	2.37	274	141	420	278	166	380
m3	17	6.02	5.43	6.87	1.90	1.30	3.03	237	139	428	183	72	288
m4	16	5.30	4.72	5.86	2.69	1.26	4.54	301	150	522	166	87	251
m5	25	5.22	4.72	6.41	2.43	1.17	5.09	174	83	410	160	107	295
m6	7	5.16	4.93	5.50	1.68	1.26	2.26	153	98	250	64	49	85
m7	13	5.06	4.56	6.14	2.06	1.61	2.50	210	103	396	161	89	214
m8	44	5.49	4.56	7.26	1.83	1.33	3.33	171	66	418	119	76	170
m9	6	4.89	4.69	5.17	1.64	1.50	1.87	138	63	217	163	141	186
m10	106	5.49	4.64	6.92	2.00	1.00	3.41	260	95	1005	239	129	603
m11	65	5.30	4.34	7.23	1.79	1.43	2.41	193	53	884	112	56	251
m12	3	5.67	5.12	6.35	1.78	1.59	1.98	300	281	332	167	120	195
m13	95	5.48	4.53	6.95	1.51	0.89	3.41	232	49	452	218	89	676
m14	12	5.29	4.85	5.80	2.47	1.52	3.20	214	130	309	160	107	214
m15	3	5.20	5.08	5.28	1.87	1.72	2.04	233	226	243	145	135	162
m16	26	5.32	4.67	6.92	1.45	1.09	1.80	336	148	560	258	117	479
m17	16	5.21	4.76	5.66	1.53	1.15	1.93	191	115	273	177	72	708
m18	29	6.37	5.23	7.04	2.40	1.74	3.54	179	83	300	158	100	309
m19	32	6.07	5.19	6.96	1.20	0.94	1.67	233	138	356	143	89	214
m20	52	5.29	4.43	6.52	1.55	1.06	2.24	274	123	558	211	95	813
m21	17	5.74	5.19	6.43	1.11	0.75	1.65	281	121	442	123	59	200
m22	30	5.85	5.43	6.30	2.50	1.27	4.33	245	127	450	169	52	398
Общее	693	5.55	4.34	7.41	1.79	0.75	5.09	235	49	1005	182	49	813

Примечание. В графе 1 – среднее, 2 – минимум, 3 – максимум.

Таким образом, очевидно, что при оценке качества конкретного угодья степень пространственной изменчивости показателей почвенного плодородия может играть большую роль. Исследования пространственной неоднородности почвенных свойств в пределах угодья идут уже давно [1, 5–8], однако в России их начинают активно проводить лишь в последнее время в связи с интенсификацией ведения сельскохозяйственного производства и внедрением технологий точного земледелия, предполагающего использование информации о внутренней структуре конкретного угодья [2, 9].

В связи с большими размерами угодий и ограниченными аналитическими ресурсами в России

стандарт агрохимического обследования предполагает отбор одной объединенной пробы с единичного участка в среднем размером 5 га, хотя в зависимости от сложности почвенной и производственной обстановки размеры могут как уменьшаться, так и увеличиваться [10]. Стандарт сведения исходных данных к средним показателям для угодья приводит к потере ценной информации о внутренней структуре угодья, которая могла бы быть использована для более аргументированной оценки его качества. Цель работы – на примере большого массива данных об агрохимических свойствах почв продемонстрировать подходы к оценке качества угодий на основе пространственной изменчивости их свойств.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализировали данные, полученные при обследовании полей, расположенных в Выгоничском р-не Брянской обл. Почвы – разновидности серых лесных и дерново-подзолистых почв [11]. Обследование проводили с 25.03 по 30.04.2016 г. Часть полей обрабатывали в годы, предшествовавшие обследованию, часть полей находилась в залежи. Общая площадь обследованной территории – 3860 га, размер поля – от 50 до 250 га. Перед проведением опробования поля разбивали на элементарные участки площадью 5 га. Объединенные почвенные образцы, составленные из 25 индивидуальных проб, отбирали при проходе по одной из диагоналей элементарного участка (рис. 1). После отбора пробы высушивали, измельчали и анализировали по стандартным методикам [12–14] в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования Брянского ГАУ. Обработку результатов проводили с помощью пакета статистических программ STATISTICA 8.

Поскольку размеры некоторых из обследованных полей были невелики и, соответственно, число элементарных участков на них не превы-

шало 10, для анализа статистических распределений свойств использовали полуколичественный графический метод – нормальные вероятностные графики [15, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Статистические характеристики. Содержание гумуса в почве обследованных полей было не слишком высоким: на 6 из 22 полей его среднее содержание превышало 2%. Почвенная кислотность лишь одного угодья имела средний показатель $pH < 5.0$. В основном почвы угодий характеризовались слабокислой реакцией, однако на двух полях по крайней мере на одном из 5-гектарных участков величина pH находилась в сильноокислом диапазоне, а на 10 угодьях отмечен $pH > 6.0$. Среднее содержание подвижных форм фосфора и калия почти для всех полей попадало в категорию «повышенное» [17]. Исключение составило одно поле для фосфора (поле m9) и два поля (m6 и m8) для калия (табл. 1). На большинстве полей обнаружен по крайней мере один 5-гектарный участок, на котором агрохимические показатели были самыми высокими.



Рис. 1. Пример разбивки полей на элементарные участки и направления опробования.

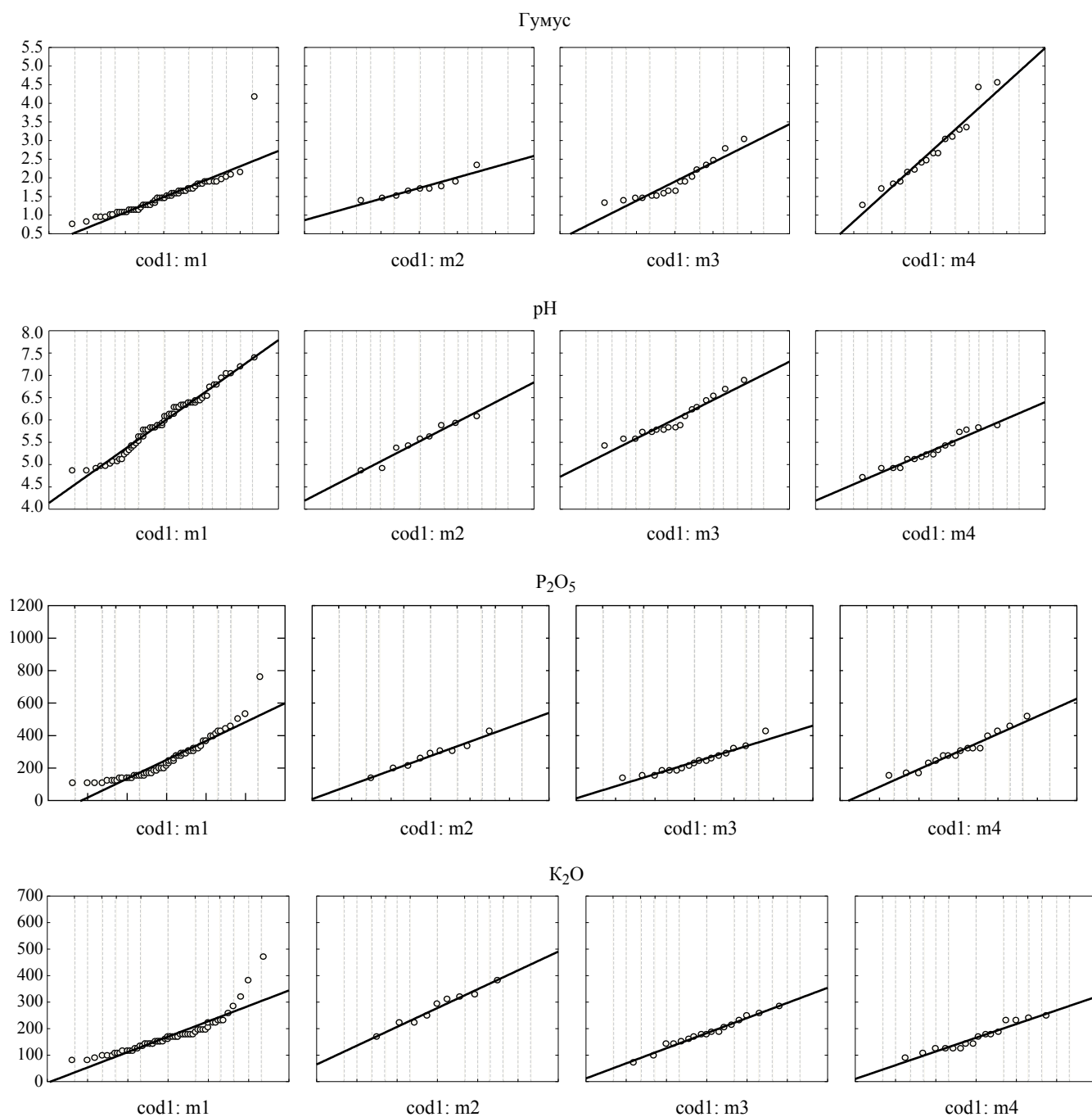


Рис. 2. Примеры нормальных вероятностных графиков для нескольких полей (m1–m4); оси X – нормальные вероятностные метки, Y – величины показателей (pH, содержание гумуса, P₂O₅, K₂O). Близость графика к прямой показывает возможность аппроксимации распределения нормальным законом.

Коэффициенты вариации агрохимических свойств на обследованных полях находились в диапазоне 5–70% (табл. 2), по степени относительной изменчивости внутри поля они составили ряд: pH < гумус < P₂O₅, K₂O. Аналогичное ранжирование агрохимических свойств по степени варьирования неоднократно отмечали ранее [7].

Как следствие такого варьирования, даже на сравнительно неблагоприятных полях, где средний показатель агрохимического свойства находился в области низкой обеспеченности, могли встречаться отдельные участки с очень высокой обеспеченностью.

Типы статистических распределений. Нормальные вероятностные графики для каждого из

свойств показали, что отклонение от распределения Гаусса, как правило, выражалось в отклонении отдельных результатов в область больших величин. При этом наиболее близкими к нормальному распределению оказались распределения содержания гумуса (рис. 2).

Распределения величин рН наиболее часто имели особенности, которые можно идентифицировать как отличие от нормальности (8 случаев из 22), причем в отличие от других свойств отклонения были отмечены как в области низких, так и в области высоких величин.

Заметные нарушения нормальности в распределениях содержания подвижного фосфора зафиксированы лишь на двух полях m1 и m11. Для содержания обменного калия на 5-ти полях (m1, m10, m13, m17 и m20) отличия от нормальности были весьма заметными, причем они выражались не только в отклонении результатов в область больших величин, но и в нарушениях в центральной части распределений.

Несмотря на визуальные отличия от нормального распределения, демонстрируемые при помощи нормальных вероятностных графиков, другие способы проверки, в частности критерий хи-квадрат, (в том случае, если повторность позволяет это сделать), не отвергали гипотезу о нормальности. Поэтому вполне допустимо принять, что при выбранном способе опробования (смешанный образец, отобранный с 5-гектарного элементарного участка), статистические распределения агрохимических свойств подчиняются закону нормального распределения.

Таким образом, использование для агрохимической характеристики угодья средних величин показателей приводило к неоправданному оптимизму относительно качества угодья, поскольку практически на каждом угодье был найден участок, обладающий как наилучшим, так и наихудшим качеством.

Распределения агрохимических свойств могут отличаться от нормального, причем они в основном имеют тенденцию к отклонению отдельных результатов в область высоких величин, однако строгое доказательство этого факта требует неоправданно большого числа повторностей. Поэтому не будет большой ошибкой считать распределения приблизительно нормальными. Этот факт может быть использован для оценки качества угодий. Поскольку образцы отбирали с равных элементарных участков, то доли показателей свойств, лежащих в некотором диапазоне, могут быть сопоставлены с долей площади, для которой показатель находится в заданном диапазоне. Воспользовав-

Таблица 2. Коэффициенты вариации агрохимических свойств, %

Код поля	Повторность, n	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH	Гумус
m1	70	49	37	10	31
m2	9	30	24	8	17
m3	17	31	30	7	27
m4	16	35	31	7	34
m5	25	38	31	6	42
m6	7	35	20	4	21
m7	13	46	25	8	14
m8	44	48	24	12	20
m9	6	37	11	3	8
m10	106	41	30	7	26
m11	65	60	28	13	12
m12	3	9	25	11	11
m13	95	43	49	10	22
m14	12	20	19	5	20
m15	3	4	10	2	9
m16	26	31	33	10	14
m17	16	25	84	5	16
m18	29	33	29	8	18
m19	32	23	22	7	15
m20	52	26	64	11	18
m21	17	33	33	7	22
m22	30	35	46	4	30
Общее	693	44	49	11	33

шись оценками средних и стандартных отклонений, полученных при обработке первичных данных, и приняв, что распределения подчиняются нормальному закону, можно рассчитать, какова доля площади на каждом из угодий, показатели которой меньше критических величин. В качестве критических величин для всех показателей агрохимических свойств, кроме гумуса, были взяты верхние границы диапазонов низкого уровня обеспеченности [17]. Для гумуса была выбрана условная граница 2%, поскольку сведения о структуре почвенного покрова изученных угодий отсутствовали, а территория находится в зоне перехода между дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами.

Угодья в целом характеризовались вполне удовлетворительными величинами кислотности, однако

Таблица 3. Доли площади земель, для которых величины показателей агрохимических свойств почв меньше критического уровня

Код поля	рН		Гумус		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	среднее, ед. рН	доля площади с почвенной кислотностью рН <4.5	среднее, %	доля площади с содержанием гумуса <2%	среднее, мг/кг	доля площади с содержанием P ₂ O ₅ < 50 мг/кг	среднее, мг/кг	доля площади с содержанием K ₂ O < 40 мг/кг
Общее	5.55	0.04	1.79	0.64	235	0.04	182	0.06
m1	5.96	0.01	1.49	0.87	251	0.05	170	0.02
m2	5.52	0.01	1.73	0.83	274	0.00	278	0.00
m3	6.02	0.00	1.90	0.58	237	0.01	183	0.00
m4	5.30	0.01	2.69	0.23	301	0.01	166	0.01
m5	5.22	0.01	2.43	0.34	174	0.03	160	0.01
m6	5.16	0.00	1.68	0.82	153	0.03	64	0.03
m7	5.06	0.09	2.06	0.42	210	0.05	161	0.00
m8	5.49	0.06	1.83	0.68	171	0.07	119	0.00
m9	4.89	0.01	1.64	1.00	138	0.04	163	0.00
m10	5.49	0.01	2.00	0.50	260	0.03	239	0.00
m11	5.30	0.12	1.79	0.83	193	0.11	112	0.01
m12	5.67	0.03	1.78	0.87	300	0.00	167	0.00
m13	5.48	0.04	1.51	0.93	232	0.03	218	0.05
m14	5.29	0.00	2.47	0.17	214	0.00	160	0.00
m15	5.20	0.00	1.87	0.79	233	0.00	145	0.00
m16	5.32	0.06	1.45	1.00	336	0.00	258	0.00
m17	5.21	0.00	1.53	0.97	191	0.00	177	0.18
m18	6.37	0.00	2.40	0.17	179	0.01	158	0.00
m19	6.07	0.00	1.20	1.00	233	0.00	143	0.00
m20	5.29	0.08	1.55	0.94	274	0.00	211	0.10
m21	5.74	0.00	1.11	1.00	281	0.01	123	0.02
m22	5.85	0.00	2.50	0.25	245	0.01	169	0.05

на нескольких полях площади с низкими величинами рН составили заметные доли: например, на поле m11 12% площади имели сильнокислую реакцию, на поле m20 площадь с неудовлетворительными величинами рН была равна ≈8% от общей площади поля.

Отмечено, что обследованная площадь в целом имела низкое содержание гумуса (табл. 3). Однако доли площадей с неудовлетворительным содержанием гумуса на разных полях менялись от 17 (поля m14 и m18) до 100% (поля m9, m16, m19, m210). На 6-ти полях средние показатели превышали уровень низкого содержания, однако при этом от 17 до 50% их площади имели неудовлетворительную обеспеченность гумусом.

Доля площадей с неудовлетворительным содержанием подвижного фосфора в целом была невелика, хотя на 2-х угодьях при его высоких средних содержаниях >5% площади имели низкую обеспеченность (поля m8 и m11). Для обменного калия на 2-х полях из 22 площади с неудовлетворительным состоянием занимали >10%.

На обследованном участке лишь одно поле из 22 можно было отнести к угодьям высокого качества, а именно поле m19, на котором площадей с низкой обеспеченностью элементами питания и гумусом практически не отмечено, за исключением небольшой доли угодья с низким содержанием гумуса. На остальных полях площади с низким показателем

по крайней мере одного из исследованных агрохимических свойств оказались достаточно большими, чтобы их можно было не учитывать при оценке качества угодья. Обращает на себя внимание то, что при вполне удовлетворительных средних показателях доли площади с неудовлетворительными условиями могли быть значительными.

Поскольку в случае определения величин показателей агрохимических свойств в смешанных образцах допустимо считать их статистические распределения нормальными, для оценки качества угодья можно использовать долю площади, неблагоприятной для выращивания сельскохозяйственных культур. Например, если при равных высоких средних величинах показателя на одном угодье 10% от его площади имеют неудовлетворительные результаты, а на другом таких участков нет, то качество первого угодья должно считаться более низким. Выбор уровней граничной доли площади с неблагоприятными условиями можно рассчитывать, исходя из экономических условий производства тех или иных культур.

Следует отметить, что высокие коэффициенты вариации свойств чаще всего свидетельствуют об отличии распределений от нормального. При этом отклонения практически всегда присутствуют в области высоких величин, что наиболее характерно для показателей, связанных с внесением минеральных удобрений. Наличие таких отклонений, смещая оценки среднего и дисперсии, может приводить к завышению доли площади с неблагоприятными условиями. В качестве примера рассмотрим поле m11, для которого среднее и стандартное отклонения содержания подвижного фосфора были равны 193 и 117 мг/кг соответственно. Если не учитывать три самых высоких результата в выборке, то эти характеристики изменяются на 177 и 64 соответственно, а доля площади с низкими показателями (<50 мг/кг) снижается с 11 до 5%. Для более надежной оценки доли неблагоприятных участков можно воспользоваться логарифмическим преобразованием данных и всю процедуру оценки проводить для них. В рассмотренном случае после логарифмического преобразования оценка доли площади с низкими показателями составит всего 0.32%.

В настоящей работе отдельные величины показателей агрохимических свойств почв рассматриваются как независимые реализации случайной величины, т.е. считается, что участки с разным качеством распределены на угодье случайно. Часто это бывает не так, и между отдельными участками есть более или менее выраженная связь, которая приводит к появлению сравнительно больших

массивов с тем или иным качеством. Однако этот вопрос затрагивает проблему взаимодействия природной неоднородности и неопределенностей, возникающей при ее опробовании, что требует отдельного изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, стандартное агрохимическое опробование показало, что сельскохозяйственные поля могут обладать значительной пространственной изменчивостью агрохимических показателей почвы. Аппроксимации статистических распределений нормальным законом дает возможность определять долю площади поля с неблагоприятными условиями и на этой основе оценивать качество угодья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Важенин И.Г., Музычкин Е.Т., Прохорова З.А., Аleshina Т.Н.* О методике составления крупномасштабных почвенно-агрохимических картограмм в целях применения удобрений // Почвоведение. 1961. № 4. С. 1–13.
2. *Robert P.C.* Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management // Plant Soil. 2002. V. 247. P. 143–149.
3. *Фрид А.С.* Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: РАСХН, 2002. 80 с.
4. *Фрид А.С., Воронин А.Я.* Оценка плодородия почвенного покрова на базе длительного полевого опыта // Почвоведение. 2000. № 4. С. 488–496.
5. *Дмитриев Е.А.* Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001. 377 с.
6. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Кн. дом «Либроком», 2009. 327 с.
7. *Самсонова В.П.* Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во «ЛКИ», 2008. 156 с.
8. *Webster R., Oliver M.A.* Geostatistics for environmental scientist. N.Y.: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 318 p.
9. *Шнаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П.* Точное сельское хозяйство. СПб. – Пушкин, 2009. 397 с.
10. *Иванов А.Л., Завалин А.А., Карпухин А.И., Исаев В.А., Яковлева Н.Н.* Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. М.: Росинформ-агротех, 2010. 462 с.
11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
12. ГОСТ 26213.91. Почвы. Методы определения органического вещества.

13. ГОСТ 26207.91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.
14. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.
15. *Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А.* Непараметрические методы в почвенных исследованиях. М.: Наука, 1987. 96 с.
16. *Боровиков В.* Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. 2-е изд. СПб.: Изд-во «Питер», 2003. 688 с.
17. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

Spatial Variability of Agrochemical Parameters of Agricultural Lands in Bryansk Region

V.P. Samsonova¹, D.G. Krotov², E. Yu. Lavrinova²

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory 1, Moscow 119991, Russia

E-mail: vkbun@mail.ru

² Bryansk Agrarian State University
Bryanskaya oblast, Vigonitshskii r-n, Kokino 243365, Russia

E-mail: krotovd@mail.ru

Information about magnitude of spatial variability of soil agrochemical parameters under different land use in Bryansk region is presented. It is shown that the values of agrochemical parameters in arable layer, which were defined in the mixed samples from 5-hectare sampling sites, mainly demonstrated a normal distribution. It is proposed to assess the land quality not only based on average values of agrochemical properties, but also on the proportion of the area with unfavorable conditions which can be calculated according to the estimated parameters of normal distribution.

Key words: spatial variability, agrochemical parameters, agricultural lands, Bryansk region.