

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАЗАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ
МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ
международной научно-практической конференции

**«СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, РЫНКИ,
КАДРЫ»**

*посвященной 100-летию аграрной науки, образования и просвещения
в Среднем Поволжье*

13-14 ноября 2019 г.

Journal of Agricultural Science and Technology.2014. Vol. 16. issue 6, November and December Pp 1441-1454.

2. S.A. Materechera, H.M. Morutse. Response of maize to phosphorus from fertilizer and chicken manure in a semi-arid environment of south Africa // Experimental Agriculture. Cambridge University Press. Jul 1, 2009.

3. Amadji, G., Kone, B., Bognonkpe. P., &Soro, N. (2013). Municipal household waste used as complement material for composting chicken manure and crop residues. Italian Journal of Agronomy, 8(2), e14. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e14>

4. Изучение процессов ферментации куриного помета под воздействием биологически активной добавки «Мефосфон» / Сibaгатуллин Ф.С., Халиуллина З.М., Сафиуллина А.Р., Петров А.М., Синяшин К.О., Шулаев М.В // Вестник Казанского ГАУ. 2018 №2 (49). С. 42-47.

5. Шаймарданова А.А., Халиуллина З.М Исследование влияния препарата Мелафен на процесс переработки отходов животноводства и птицеводства // Зерновое хозяйство России. 2017. №2. С. 66-69.

6. Изучение процессов ферментации куриного помета под воздействием биологически активной добавки «Мефосфон» / Сibaгатуллин Ф.С., Халиуллина З.М., Сафиуллина А.Р., Петров А.М., Синяшин К.О., Шулаев М.В //Вестник Казанского ГАУ. 2018 №2(49). С. 42-47.

7. Буровые шламы альтернативный источник повышения урожайности сельскохозяйственных культур / Халиуллина З.М., Петров А.М., Синяшин К.О., Ахметзянова Р.Р. // Научные труды II международной научно-практической конференции. «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Посвящается памяти д.т.н., профессора Волкова Вгоря Евгеньевича издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017. С.158-167

8. Буровые шламы и повышение урожайности сельскохозяйственных культур / Халиуллина З.М., Петров А.М., Синяшин К.О., Утомбаева А.А., Ахметзянова Р.Р. // Вестник Казанского ГАУ, Казань 2017. № 4(47). С. 80-83

9. ПНД Ф Т 14.1:2.3.13-06 / ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06 «Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Parameciumcaudatum* Ehrenberg»).

10. ФР 1.39.2007.03221 «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний». Акварос, 2007).

11. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследования: учебник / Б. А. Доспехов. - 5-е изд., перераб., 1985.

УДК 631.8

Смирнова Елена Васильевна
*Доцент, кандидат биологических наук, Казанский федеральный университет,
г. Казань,*

e-mail: elenavsmirnova@mail.ru

Гиниятуллин Камиль Гашикович,

*Доцент, кандидат биологических наук, Казанский федеральный университет,
г. Казань,*

e-mail: ginijatullin@mail.ru

Сахабиев Ильназ Алимович,

Казанский федеральный университет, г. Казань,

e-mail: ilnasoil@yandex.ru

Рыжих Людмила Юрьевна,

*Кандидат сельскохозяйственных наук, Казанский федеральный университет, г.
Казань,*

e-mail: ludarigih@mail.ru

ОЦЕНКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В ПЕРСПЕКТИВЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Аннотация. На примере двух полей севооборотов, расположенных в черноземной зоне Республики Татарстан проведена оценка пространственной variability агрохимических свойств почв в аспекте применения технологий точного земледелия при внесении минеральных удобрений. Показано, что использование в качестве элементарного участка отбора смешанных проб полигонов площадью 5 га является достаточной детализацией для геостатистического описания пространственной неоднородности агрохимических свойств черноземных почв.

Ключевые слова: variability, геостатистика, агрохимический анализ, плодородие почв, точное земледелие

Smirnova Elena Vasilyevna

*Associate professor, candidate of Biology, Kazan Federal University, Kazan,
e-mail: elenavsmirnova@mail.ru*

Giniyatullin Kamil Gashikovich

*Associate professor, candidate of Biology, Kazan Federal University, Kazan,
e-mail: ginijatullin@mail.ru*

Sahabiev Ilnas Alimovich

*Kazan Federal University, Kazan,
e-mail: ilnasoil@yandex.ru*

Ryzhikh Lyudmila Yurievna,

*Candidate of Agricultural Sciences, Kazan Federal University, Kazan,
e-mail: ludarigih@mail.ru*

EVALUATION OF VARIABILITY AGROCHEMICAL PROPERTIES ON AGRICULTURAL LANDS IN PRECISION FARMING PERSPECTIVE TECHNOLOGIES

Abstract. Using the example of two crop rotation fields located in the chernozem zone of the Republic of Tatarstan, the spatial variability of the agrochemical properties of soils was assessed in terms of the application of precision farming technologies when applying mineral fertilizers. It is shown that the use of mixed samples of polygons with an area of 5 ha as an elementary sampling site is sufficient detail for a geostatistical description of the spatial heterogeneity of the agrochemical properties of chernozem soils.

Key words: variability, geostatistics, agrochemical analysis, soil fertility, precision farming.

Введение. Современные технологии точного земледелия, широко внедряемые в последнее время в сельскохозяйственной производстве, подразумевают оценку пространственно-временной неоднородности сельскохозяйственных угодий, а стратегия их реализации ориентирована на адаптацию системы растениеводства к пространственной неоднородности полей севооборотов. Одной из основных проблем внедрения технологий точного земледелия в России является отсутствие необходимого количества точных карт обеспеченности сельскохозяйственных угодий доступными элементами питания. Обнаружение и картирование изменений в содержании доступных форм питательных веществ в почве является основной проблемой для внедрения методов точного земледелия в реальное производство [10]. Детальное картографирование содержания элементов питания затруднено в связи с наличием фундаментального свойства почв - вариабельности и неоднородности почвенного покрова. Вариабельность свойств почв долгое время рассматривалась как помеха при агрохимическом обследовании и при проведении режимных наблюдений за свойствами почв [5]. Традиционно изучению вариабельности отводилось важное место при исследовании структур почвенного покрова [7], его неоднородности [1, 2], при выявлении статистических оценок и распределения свойств почв [4, 6].

Внедрение систем точного земледелия требует применения особых методов проведения агрохимического обследования, обеспечивающих получение адекватных моделей пространственной неоднородности пахотных угодий по обеспеченности доступными элементами питания. Результаты агрохимического обследования являются основой получения цифровых картограмм (карт-заданий) внесения минеральных удобрений. Построение карт-заданий осуществляется на основе пространственной интерполяции результатов локального опробования на всю обследуемую территорию. Они должны обеспечить требуемую точность внесения минеральных удобрений специальной техникой, что, в свою очередь, делает необходимым проведение агрохимического обследования с большей степенью детализации и точной привязкой к местности.

Современные геостатистические методы интерполяции, гибридные методы и методы машинного обучения позволяют с высокой точностью описать вариабельность агрохимических свойств и обеспечить надежную оценку содержания доступных форм NPK на все пространство обследуемого поля [12,

13]. На основе интерполированных карт, полученных с применением геостатистических методов, можно произвести точный расчет доз внесения удобрений на конкретном участке (ячейке внесения) при использовании систем точного земледелия.

Материалы и методы исследований. Оценка пространственной variability свойств почв была произведена на территории двух полей, расположенных в юго-восточной части Республики Татарстан, поле №1 площадью 95 га - на территории Заинского района, поле №2 площадью 313 га - в Сармановском районе. Почвенный покров исследуемых территорий представлен выщелоченными черноземами, типичными для данной зоны. Районы обследования существенно отличаются по рельефу и развитости процессов водной эрозии. Для изучения закономерностей формирования пространственной неоднородности почв поле №1 обследовалось с более высокой детализацией пробоотбора. Было отобрано 60 смешанных образцов при размере элементарного участка 1,5-2 га. Для оценки возможности применения метода ординарного кригинга (ОК) - традиционного метода интерполяции, используемого для составления карт обеспеченности элементами питания в целях точного земледелия, на поле №2 был проведен менее детальный пробоотбор, 62 образца с элементарного участка площадью около 5 га. В обоих случаях элементарные участки отбора смешанных проб создавались по форме близкие к квадратам, что позволяло обеспечить получение адекватной модели регионализации при применении методов кригинга. Маршруты отбора закладывались по диагонали элементарных участков с точной фиксацией координат точек начала и конца маршрута. При отборе использовали полевой GPS-контроллер TRIMBLE JUNO 5D с точностью геопозиционирования до 1 м. В смешанных образцах были определены: содержание гидролизуемого азота по Корнфилду, подвижных форм фосфора и калия по Чирикову, pH водной вытяжки. Результаты определения показателей при проведении интерполяции привязывались к координатам центроидов элементарных участков. Статистическая обработка данных была проведена при помощи статистической среды объектно-ориентированного языка R. Вариограммный анализ и пространственная интерполяция методом ординарного кригинга были осуществлены при помощи пакета «gstat» языка R [11].

Результаты исследований. Данные описательной статистики показывают, что распределение почвенных свойств на участках неоднородно (табл. 1).

На поле №1 содержание гидролизуемого азота характеризуется как повышенное, variability средняя. Содержание доступных форм калия и фосфора варьирует от высоких значений до очень высоких. Изменчивость значений доступного фосфора характеризуется как очень сильная, доступного калия - как средняя. На поле №2 содержание гидролизуемого азота характеризуется как низкое, variability сильная, содержание доступного фосфора характеризуется как повышенное, доступного калия - как очень высокое, их variability характеризуется как сильная.

Таблица 1 - Основные статистические показатели почв полей

	Мин.	Среднее	Медиана	Макс.	Коэффициент вариации	Значение теста Шапиро-Уилка
Поле №1						
N гидролизующий, мг/кг	156,5	205,8	206,9	272,6	12,3	0,98*
K ₂ O доступный, мг/кг	135,7	176,1	175,4	276,0	13,7	0,91
P ₂ O ₅ доступный, мг/кг	110,6	239,0	217,9	595,1	31,6	0,86
pH солевой	6,0	6,4	6,2	7,8	7,2	0,75
Поле №2						
N гидролизующий, мг/кг	63.8	119.8	113.4	168.0	22.0	0.95
K ₂ O доступный, мг/кг	120.0	247.5	200.0	525.0	45.9	0.86
P ₂ O ₅ доступный, мг/кг	60.6	120.3	117.3	224.8	30.8	0.94*
pH солевой	5.3	6.4	6.6	7.2	8.1	0.90

Примечание: * - предположение о нормальности выполняется при уровне значимости 0,05

На исследуемых полях содержание доступных форм элементов питания и pH описываются изотропными вариограммами и аппроксимируются сферическими теоретическими моделями. В качестве примера представления вариограммного анализа были взяты вариограммы содержания доступного фосфора (рис. 1), так как данный показатель характеризуется наиболее высокой пространственной вариабельностью.

Количественные значения теоритических вариограмм описаны в таблице 2.

Соотношение наггет/порог для поля № 1 свидетельствует о сильной пространственной зависимости содержания доступного фосфора, для поля №2 это соотношение свидетельствует об умеренной зависимости по градации оценок, предложенной в работе Камбарделлы с соавт. [8]. Отличаются исследуемые поля и по радиусу корреляции, для поля №1 он составляет 656,8 м, что в 1,8 раза меньше по сравнению с полем № 2, для которого радиус корреляции равен 1225,65 м.

Разница в радиусах корреляции связана с масштабными эффектами, поскольку при использовании в качестве элементарного участка ячейки площадью 5 га длина сторон ячейки составляет 224*224 м. На поле №1, пробоотбор был осуществлен на элементарных участках площадью 2 га с длинами сторон 122*122 м. Соотношение размеров сторон ячеек также равно 1,8 ед. Соответственно, значение радиуса корреляции вариограммы содержания доступного фосфора для поля №1 не могло приближаться к значению радиуса корреляции для доступного фосфора поля №2.

В тоже время значение наггета для вариограммы поля №2 является более высоким (476.05) по сравнению с полем №1 (301,29). Тем не менее,

вариограмма для поля №2 вполне удовлетворительно описывает пространственную вариабельность содержания доступного фосфора.

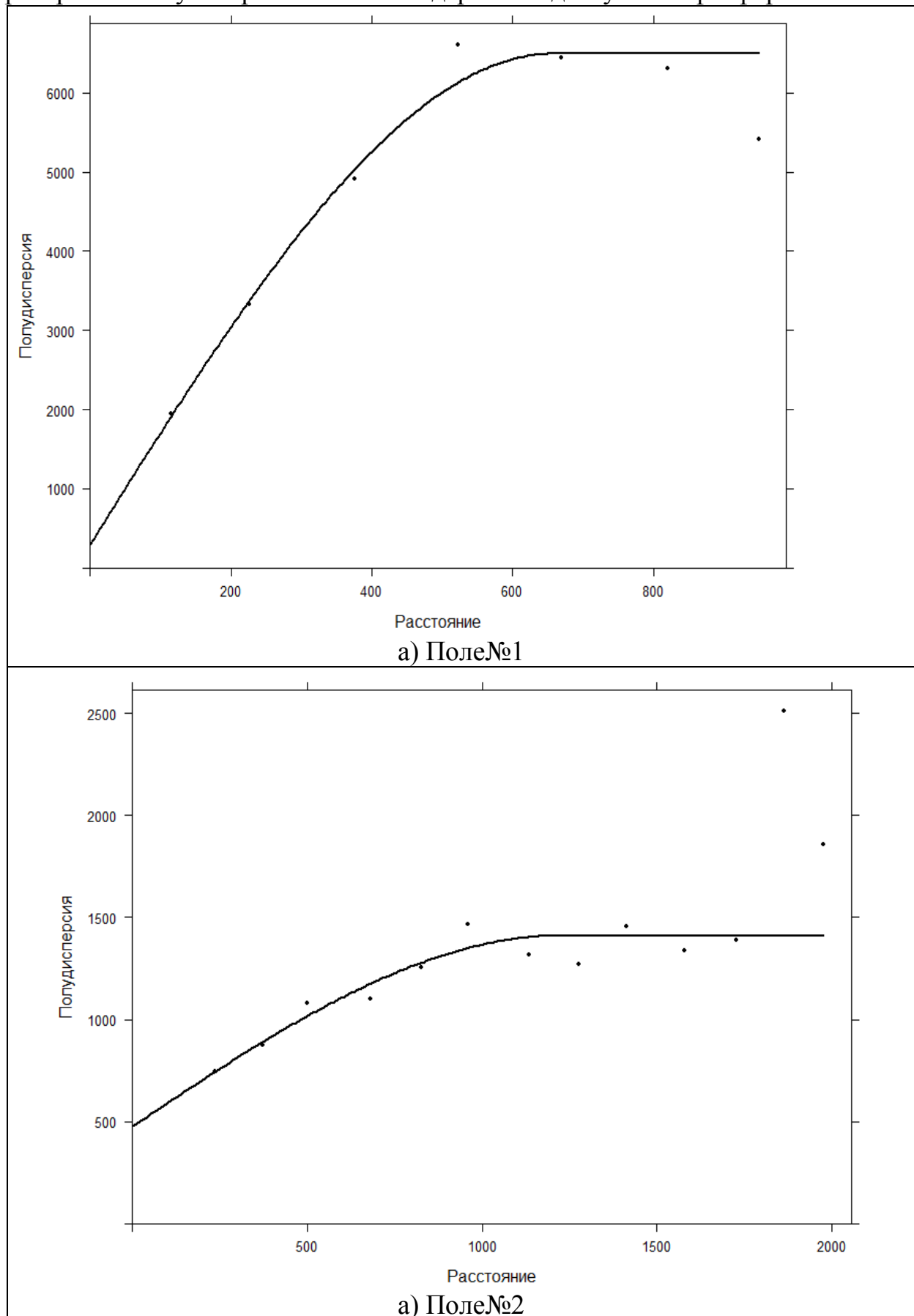


Рисунок 1. Вариограммы содержания доступного фосфора для двух участков

Таблица 2 - Количественные значения теоретических вариограмм содержания подвижного фосфора

Вариограммы для ОК						
	Модель	Радиус корреляции (Ранг)	Наггет (C ₀)	Част, порог (C ₁)	Порог (C ₀ +C ₁)	C ₀ /(C ₀ +C ₁)
Поле №1	Sph	656,8	301,29	6190,64	6491,9	0,05
Поле №2	Sph	1225, 65	476.05	935.14	1411.19	0.33

В случае отсутствия пространственной зависимости на расстояниях шага опробования наблюдался бы эффект «чистого наггета», либо наблюдался бы эффект «искусственного наггета» возникающий, когда пространственные структуры имеют размер радиуса корреляции меньше, чем шаг опробования. Эффект «искусственного наггета» может возникнуть при отборе образцов по систематическим решеткам с фиксированным расстоянием между точками отбора проб или при отборе смешанных образцов по элементарным участкам с привязкой значений результатов к центроидам, расстояние между которыми определяется размерами участков отбора проб.

Результаты анализа вариограмм показывают, что при разработке методики проведения агрохимического обследования для внедрения систем точного земледелия вопрос выбора размера элементарного участка становится сложным.

Если размер элементарного участка неоправданно мал, это может привести к излишней детализации обследования и повышению стоимости проведения обследования. Если размер элементарного участка будет слишком большим, есть вероятность, что расстояние между центроидами окажется больше радиуса корреляции и будет наблюдаться эффект «искусственного наггета». В этом случае использование геостатистических методов интерполяции (включая ОК) становится невозможным, и придется использовать детерминистские интерполяторы, которые характеризуются заведомо низкой надежностью пространственного прогноза по сравнению с методом ОК.

Из результатов обследования и вариограммного анализа можно сделать вывод, что использование элементарных участков для агрохимического обследования почв в черноземной зоне площадью 1-1,5 га является явно избыточным, поскольку это увеличивает количество образцов, возрастает стоимость реализации проекта по внедрению технологий точного земледелия. Для зон распространения почв черноземного ряда можно ограничиться элементарными участками размером 5 га.

Проверка эффективности пространственной интерполяции свойств почв проводилась на основе графиков, на которых нанесены спрогнозированные значения против измеренных значений. На рисунке 2 приведены эти графики для доступных форм калия и фосфора участков исследования. Для доступного калия (поле №1) значение скорректированного коэффициента детерминации

равно $R^2=0,16$, для поля №2 спрогнозированные значения калия на 56 % описывают актуальные значения. Для фосфора (поле №1) соответствие спрогнозированных значений наблюдаемым значениям были не высоки ($R^2=0,37$), в отличие от поля №2, где прогнозные значения содержания фосфора на 79% описывали наблюдаемые значения. Низкая корреляция между предсказанными и измеренными значениями для поля №1, скорее всего, связана с локальными изменениями содержания фосфора и калия, вызванными изменчивостью в условиях окружающей среды и сельскохозяйственной практикой. Из результатов сравнения данных более детальное обследование поля №1 не обеспечило увеличение надежности пространственного прогноза, что также свидетельствует о неоправданности отбора проб с элементарных участков 1,5-2 га без реальной необходимости.

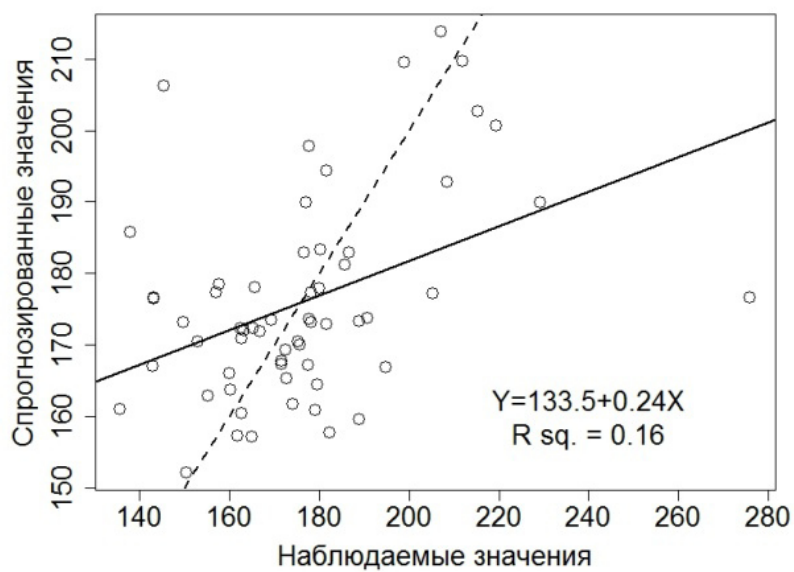
Методики планирования и проведения отбора почвенных проб при агрохимическом обследовании полей для внедрения технологий точного земледелия в черноземной зоне РТ, предложенная авторами была проверена на практике. С 2017 года было обследовано более 25 тыс. га пахотных угодий, расположенных в Закамье РТ. На большинстве обследованных полей (более 80%) для построения интерполированных карт обеспеченности элементами питания использовали метод ОК.

Количество отбираемых образцов при размерах элементарных участков 5 га составляло больше 50. При использовании метода ограниченного максимального правдоподобия для вычисления параметров базовых моделей 50 точно локализованных данных считается минимально допустимым [9].

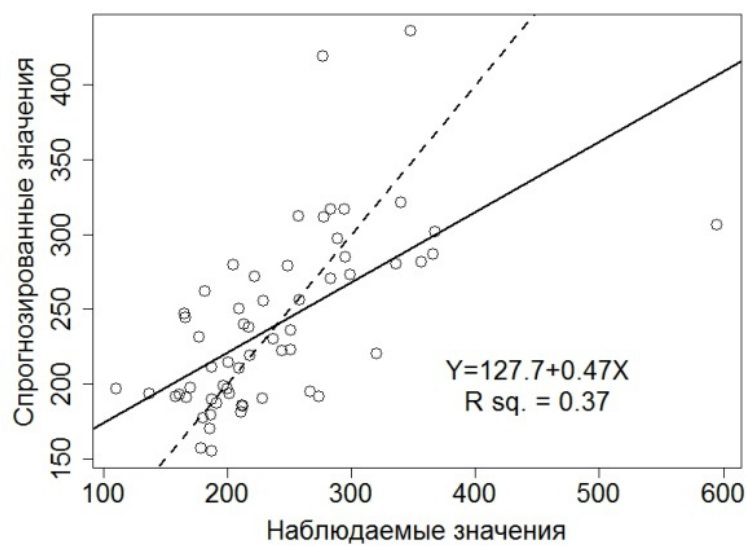
Метод ОК также использовался для полей меньшего размера, которые объединялись в один кластер интерполяции, если они близко располагались друг к другу и были приурочены к одному элементу рельефа. Во всех случаях при применении для интерполяции метода ОК, пространственные закономерности изменения содержания доступных элементов питания и pH описывались транзитивными вариограммами с уверенно устанавливаемой величиной порога и радиуса корреляции. На небольших удаленных полях для построения интерполированных карт приходилось использовать детерминистский интерполятор - метод обратных взвешенных расстояний (IDW). Метод IDW характеризуется низкой надежностью пространственного прогноза (из-за эффекта «бычий глаз»), но не имеет ограничений по количеству точек используемых для интерполяции.

Из проделанной работы можно сделать вывод, что элементарный участок размером 5 га для отбора смешанных проб с целью внедрения систем точного земледелия в черноземной зоне РТ позволяет с достаточно высокой точностью описать пространственную вариабельность агрохимических свойств почв. В случае невысокой эффективности метода интерполяции ОК следует использовать более широкий спектр интерполяторов или учитывать факторы, оказывающие влияние на вариабельность свойств почв при разработке методов агрохимического обследования пахотных угодий под применение систем точного земледелия.

Поле № 1

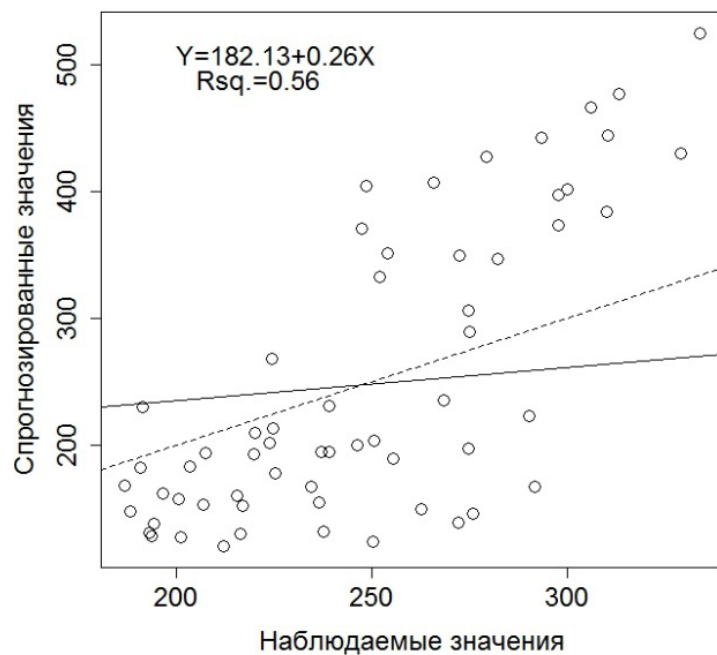


а) Калий подв., мг/кг

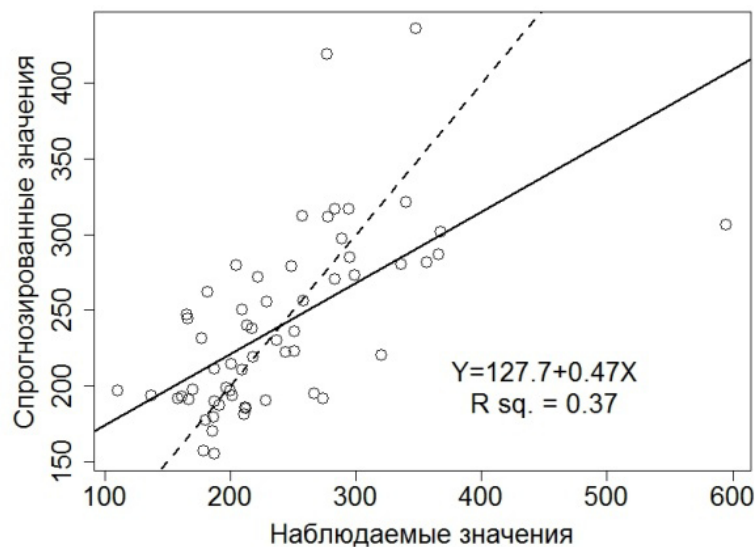


б) Фосфор подв., мг/кг

Поле №2



в) Калий подв., мг/кг



г) Фосфор подв., мг/кг

Рисунок 2. Спрогнозированные методом ОК значения против актуальных значений. Сплошная линия - линия регрессии, заштрихованная линия - линия 1:1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, Проект № 19-29-05061 мк.

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М., 2001. 377 с

2. Карпачевский, Л.О. Некоторые методические аспекты учета пространственной неоднородности в почвоведении // Масштабные эффекты при исследовании почв. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 39-46.
3. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
4. Орешкина, Н.С. Статистические оценки пространственной изменчивости свойств почв. М.: Изд-во МГУ, 1988. 112 с.
5. Самсонова, В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.
6. Фрид, А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: Россельхозакадемия, 2002. 80 с.
7. Фридланд, В.М., Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.
8. Cambardella C., Moorman T., Novak J., Parkin T., Karlen D., Turco R., Konopka A. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1994. Vol.58. P. 1501-1511.
9. Kerry R., Oliver V.A. and Frogbrook Z.L. Sampling in Precision Agriculture // in: Geostatistical Applications for Precision Agriculture (editor M.A. Oliver). Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 35-64.
10. Krishna K. R., Precision farming. Soil Fertility and Productivity Aspects. Toronto: Apple Academic Press, 2013. 160 p.
11. Pebesma E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package // Computers & Geosciences. 2004. № 30. P. 683-691.
12. Sahabiev I.A, Giniyatullin K.G, Ryazanov S.S., Digital soil mapping as a basis for climatically oriented agriculture a thematic on the territory of the national crop testing fields of the Republic of Tatarstan, Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol.107, Is.1. Art. № 012122
13. Sahabiev I. A., Ryazanov S. S., Kolcova T. G., Selection of a Geostatistical Method to Interpolate Soil Properties of the State Crop Testing Fields using Attributes of a Digital Terrain Model // EURASIAN SOIL SCIENCE. 2018. Vol.51, Is.3. P.255-267.

УДК 631.816.1

Чухина Ольга Васильевна

*Кандидат сельскохозяйственных наук, Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия, г. Вологда*

E-mail: dekanagro@molochное.ru

Токарева Надежда Валерьевна

*Кандидат сельскохозяйственных наук, Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия, г. Вологда*

E-mail: lisenok351@mail.ru