Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.48

Картографирование агрохимических свойств почвы с применением обычного кригинга

Чащин А.Н.

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Аннотация

В статье представлены результаты картографирования пространственной неоднородности гумуса, реакции среды и подвижного фосфора в почвах Верещагинского района Пермского края на территории ООО «Агропредприятие Заря Путино». Цель исследований – оценить пространственную неоднородность агрохимических показателей геостатистическим методом обычного кригинга. Выбор мест отбора точек основан на спектральной отражательной способности почвы, участки которой выделены в результате классификации спутникового снимка Sentinel 2 методом К-средних (классификация без обучения). Результаты пространственного распределения агрохимических свойств исследованы по гистограмме, графику тренда и вариограмме. В полученных данных выявлен глобальный тренд. Наибольшая автокорреляция установлена по содержанию подвижного фосфора. Созданные геостатистические слои согласуются с особенностями рельефа территории. В результате картографирования выявлен контур с потребностью почв в фосфорных удобрениях.

Ключевые слова: АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, КРИГИНГ, ПЕРМСКИЙ КРАЙ

Введение

Агрохимические свойства почвы: содержание гумуса, реакция среды, содержание элементов питания, – являются важными показателями плодородия. В условиях сложного рельефа Среднего Предуралья их содержание сильно варьирует, и для их оценки в системе точного земледелия требуется значительное число почвенных проб. Поэтому актуальным становится прогнозирование агрохимических свойств методами интерполяции [1]. При этом наиболее точные результаты дает геостатистическая интерполяция [2], которая является инструментом для построения карт отдельных свойств почв [3]. Обычный кригинг (Ordinary kriging) – это один из наиболее часто используемых в геостатистике методов интерполяции. Свойство данного метода – наилучшее линейное несмещенное оцени-

вание [4-6].

Результатом интерполяции агрохимических свойств почв являются картограммы, на которых выделены области нуждаемости почв в удобрениях. Для Пермского края геопространственные модели свойств почв выполнены по геохимическим показателям, характеризующим уровень загрязнения [7], при этом агрохимические показатели почв земель сельскохозяйственного назначения для данной территории геостатистическими методами мало изучены.

Цель исследований – выполнить оценку пространственной неоднородности и картографирование агрохимических свойств почвы геостатистическим методом обычного кригинга.

Методы и объекты исследований

Объектом исследований является почвенный покров пахотного поля ООО Агропредприятие «Заря Путино» Верещагинского района Пермского края. Площадь поля равна 163,9 га. Преобладающие почвы участка – дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая на покровных отложениях и дерново-карбонатная выщелоченная на элювии известняков. Использованная в работе выборка составила 28 индивидуальных почвенных образцов.

Почвенные образцы отбирались в июне 2018 года из слоя 0-10 см. Точки отбора были загружены в GPS-навигатор и определены на местности. Выбор мест отбора основан на спектральной отражательной способности почвы, участки которой выделены в результате классификации спутникового снимка Sentinel 2 (дата съемки 12.05.2018) методом К-средних (классификация без обучения). Результат классификации снимка представлен на рис. 1. Лабораторные исследования почвенных проб включали определение содержания гумуса (ГОСТ 26213-84), реакции среды (ГОСТ 26483-85) и подвижного фосфора (ГОСТ 26207-91 и ГОСТ 26205-91). Оформление агрохимических картограмм выполнено в соответствии с группировкой почв сельхозугодий по различным агрохимическим показателям [8]. Предварительный анализ данных и интерполяция методом Ordinary Kriging проведены средствами модуля Geostatistical Analyst программы ArcGIS 10.1 [9]. Результаты интерполяции сравнивались с условиями рельефа: высота, крутизна склона, закрытые понижения, которые были вычислены на основе глобальной цифровой модели рельефа SRTM в программе SAGA. При обработке SRTM было увеличено пространственное разрешение раст-

ра до 5 метров методом сплайн-интерполяции. В оформлении картограмм использовалась переклассификация растров.

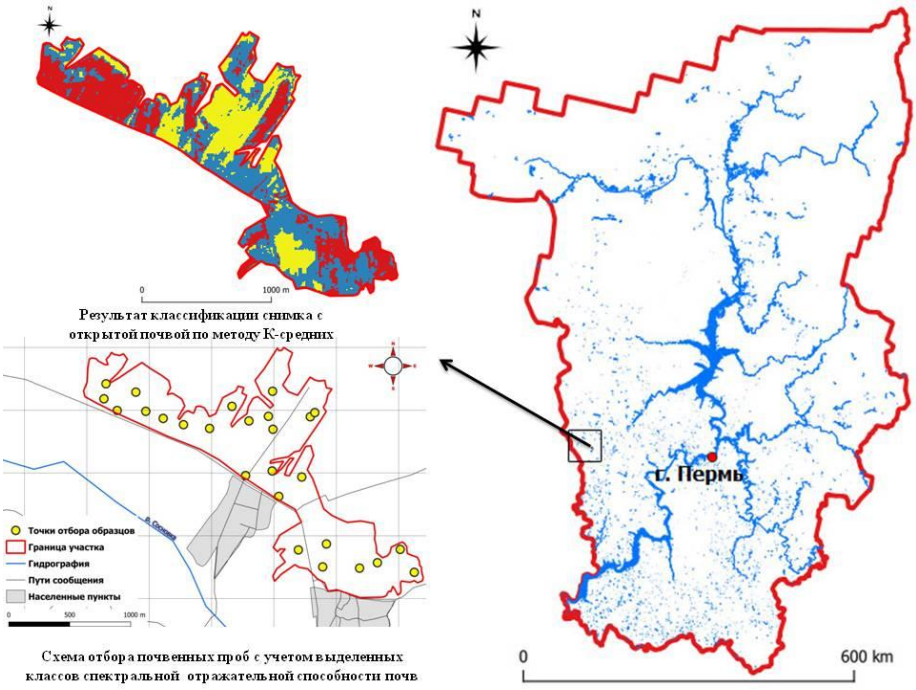


Рис. 1. Местоположение участка исследований

Результаты и их обсуждение

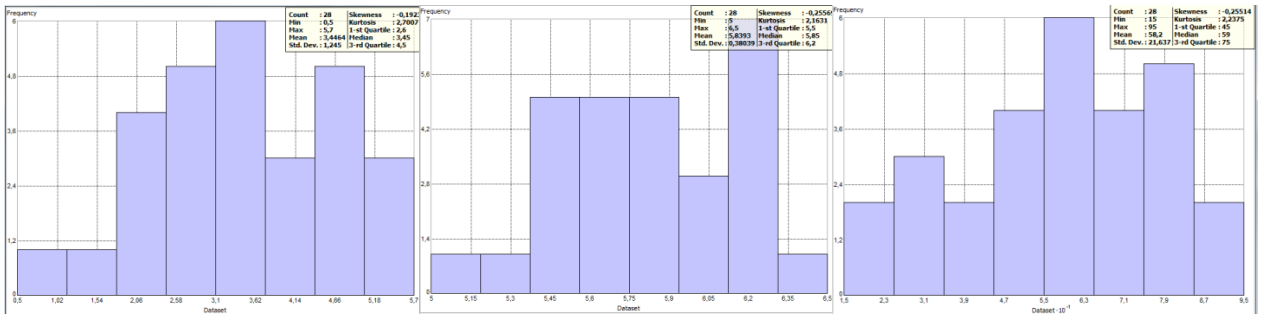
Корректная оценка пространственной неоднородности агрохимических свойств почвы возможна только при условии подбора оптимальных параметров интерполяции. Для этого проводится предварительный анализ данных. Он включает в себя: оценку статистического распределения показателей; определение наличия глобальных трендов; анализ и моделирование вариограммы; перекрестная проверка точности интерполяции.

Оценка статистического распределения данных. В таблице 1 приведены показатели описательной статистики исследованных агрохимических свойств. По полученным данным территория поля характеризуется: содержанием гумуса – от очень низкого до среднего, реакцией среды – от среднекислой до нейтральной, уровнем обеспеченности подвижным фосфором – от очень низкого до низкого. Варьирование реакции среды имеет незначительный уровень, а изменчивость содержания гумуса и подвижного фосфора оценивается как средняя. Данные имеют слабовыраженную левостороннюю асимметрию (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Описательная статистика агрохимических свойств почв (n=28)

Показатель	Значения показателей				Std. Dev.	V, %	Эксцесс	Асимметрия
	мин.	макс.	среднее	медиана				
Гумус, %	0,5	5,7	3,44	3,45	1,245	36	2,70	-0,19
pH KCl	5,0	6,5	5,84	5,85	0,380	7	2,10	-0,25
P_2O_5, мг/кг	15,0	95,0	58,00	59,00	21,637	37	2,23	-0,25

Примечания: Std. Dev. – стандартное отклонение; V, % – коэффициент вариации.



Гумус, % **pHKCl** **P_2O_5**

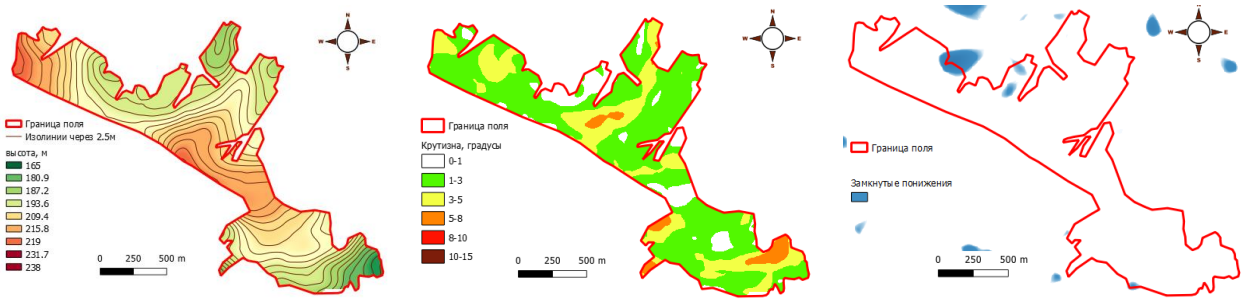
Рис. 2. Гистограммы относительных частот агрохимических свойств почвы

Распределение значений агрохимических свойств почвы представлено на гистограммах в виде диапазонов (рис. 2). Центральные значения данных по содержанию гумуса, реакции среды и содержанию P_2O_5 имеют близкие значения среднего и медианы, что свидетельствует о распределении свойств по нормальному закону. При этом распределения pH и P_2O_5 смещены влево, что характеризует выборку малым числом точек с кислой реакцией среды и очень низким содержанием фосфора.

Поскольку значения средней и медианы по всем показателям близки к друг другу, то данные соответствуют нормальному распределению и подходят для дальнейшей обработки методом обычного кригинга без проведения над ними трансформации по методу нормальных меток (оптимизация кривой под значения данных).

Анализ тренда. Для того, чтобы интерполяция прошла корректно, требуется отсутствие глобальных трендов (если агрохимические свойства подчиняются влиянию внешнего фактора). Если в данных присутствует глобальный тренд, то его нужно удалить [9]. В крупномасштабном картографировании свойств почв фактором тренда часто является рельеф. Чинилин А.В. с соавторами [10] указывают на то, что морфометрические свойства рельефа могут быть использованы для оценки пространственного варьирования исследуемых свойств почв. Поскольку корреляция между исследуемыми свойствами от-

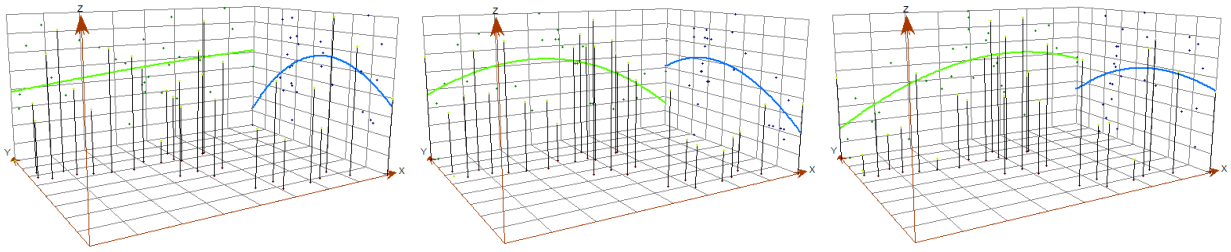
сутствует, тренд может быть обусловлен рельефом территории, который представлен на рис. 3.



Рельеф **Крутизна склона** **Замкнутые понижения**

Рис. 3. Рельеф исследуемой территории

По результатам исследований входных данных выявлены тренды U-образной формы (рис. 4). Выраженный тренд наблюдается во всех направлениях, кроме линии запад-восток по содержанию гумуса, но в направлении север-юг по гумусу тренд наиболее значительный (имеет наиболее ясную U-образную форму). Тренд реакции среды растет по направлению к центру, а затем снижается. В направлении восток-запад такое изменение соответствует рельефу: на возвышенном участке в центре поля выходит элювий известняков, на котором сформировалась дерново-карбонатная выщелоченная почва.



Гумус, % **pH_{KCl}** **P_2O_5**

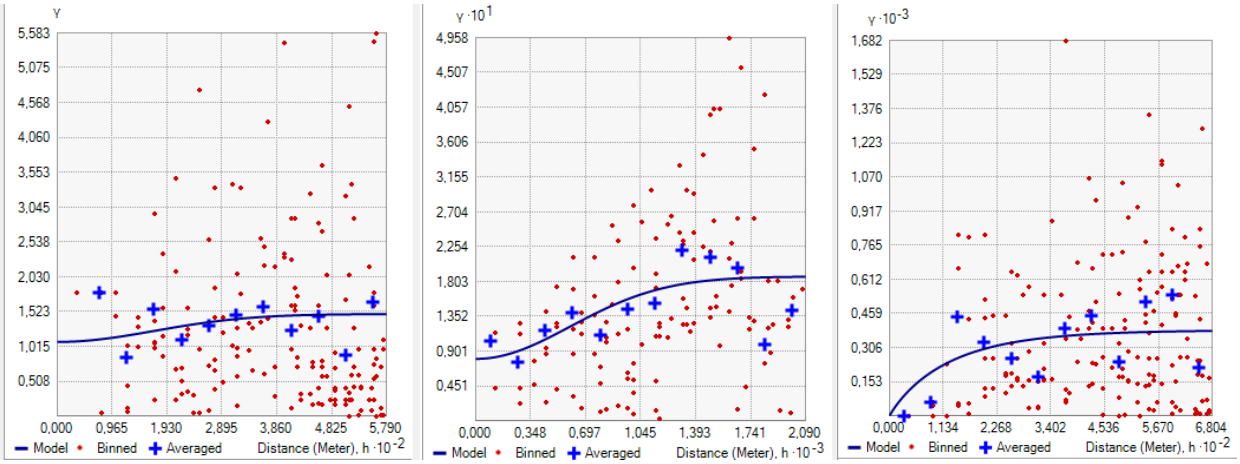
направление восток-запад направление север-юг

Рис. 4. Тренды пространственного распределения свойств почв

Таким образом, U-образная форма тренда предполагает использовать полином второго порядка в качестве глобальной модели тренда. Это означает, что перед интерполяцией должен быть удален тренд второго порядка.

Анализ вариограмм. Взаимосвязь между свойствами почвы и их пространственной удаленностью друг от друга описывает вариограмма [9]. Модельные вариограммы пока-

зывают пространственную зависимость агрохимических свойств. По форме кривой наибольшая пространственная автокорреляция наблюдается по содержанию подвижного фосфора: происходит возрастание кривой с расстоянием. Низким уровнем пространственной зависимости обладает гумус, так как средние значения точек кривой вариограммы этого показателя колеблются на одном уровне (рис. 5).



Гумус, % **pHKCl** **P_2O_5**

Рис. 5. Вариограммы агрохимических свойств почв

Корректная интерполяция должна быть основана на оптимальной модели вариограммы. Подбор модели можно осуществлять вручную или автоматически. В данном случае оптимальная модель вариограммы подобрана автоматически при помощи функции «Оптимизация вариограммы» модуля Geostatistical Analyst.

Оценка точности интерполяции данных проводилась методом перекрестной проверки. Принцип перекрестной проверки заключается в том, что каждая точка последовательно убирается из интерполяции, данные интерполируются вновь и сравниваются со значениями измеренной точки. Результаты оценки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения усредненной разности между измеренными и проинтерполированными значениями (ME)

	Гумус	**pHKCl**	**P_2O_5**
Величина ME	0,051	-0,004	-0,1052

По результатам перекрестной проверки установлено, что средняя ошибка прогнозирования близка к нулю. Это свидетельствует о надежности результатов интерполяции

для дальнейшего картографирования почвенных свойств. Погрешность пространственного прогнозирования возрастает примерно с шагом 0,5 в направлении: реакция среды → содержание гумуса → содержание подвижного фосфора. Возможно, это связано с неравномерным внесением удобрений на данном поле. Результаты предварительной оценки данных позволили сформировать геостатистические слои значений и ошибки прогноза агрохимических показателей (рис. 6).

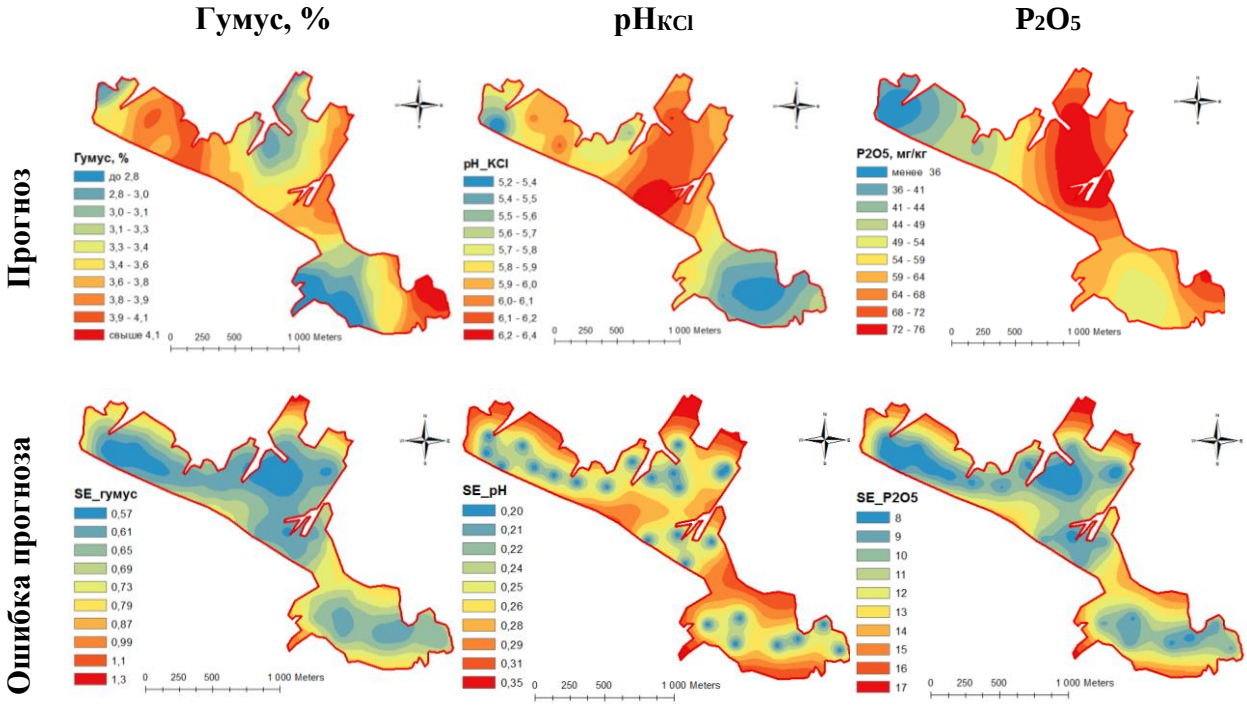


Рис. 6. Геостатистические слои агрохимических свойств почв

Интерполированные значения геостатистических слоев были сгруппированы по методу «Естественные интервалы»: выделено 10 классов таким образом, чтобы сгруппировать близкие по значениям данные. В результате в пределы каждого класса попали участки с близкими значениями агрохимических свойств.

По реакции среды наиболее заметно возрастание ошибки прогноза к участкам поля, не охваченным отбором проб. Вдоль границ поля выражена пространственная взаимосвязь содержания гумуса и реакции среды. На склонах крутизной более 5° содержание гумуса оказалось ниже.

Полученные геостатистические слои стали основой для картограмм агрохимических показателей. Формирование значений растра для вычисления площадей по группам интервалов свойств почв выполнено путем переклассификации геостатистических слоев.

Для этого проведена замена непрерывных значений показателя на интервал, в который они попадает. Сам интервал обозначался целым числом. Например, диапазоны реакции среды почв выделялись из растра по формуле, записанной в «Калькулятор растров» ГИС-приложения:

(«pH» <=5.5)*1+(«pH» >=5.5 AND «pH» <= 6.0)*2 +(«pH» >= 6)*3 (1)

где: «pH» – геостатистический растр реакции среды почв; 1 – группа почв со слабокислой реакцией среды (от 5,1 до 5,5); 2 – группа почв с близкой к нейтральной реакцией среды (от 5,6 до 6,0); 3 – группа почв с нейтральной реакцией среды (выше 6,0).

После переклассификации для полученных растров вычислены площади групп с различным уровнем содержания гумуса, реакции среды и подвижного фосфора.

Картограмма гумуса свидетельствует о преобладании почв с низким содержанием на 94% площади поля (рис. 7). Один из небольших ареалов среднего содержания гумуса (в северо-западной части) совпадает с замкнутым понижением рельефа (рис. 3), на котором, вероятно, произошло накопление смытого с окрестных возвышенностей плодородного слоя почвы.

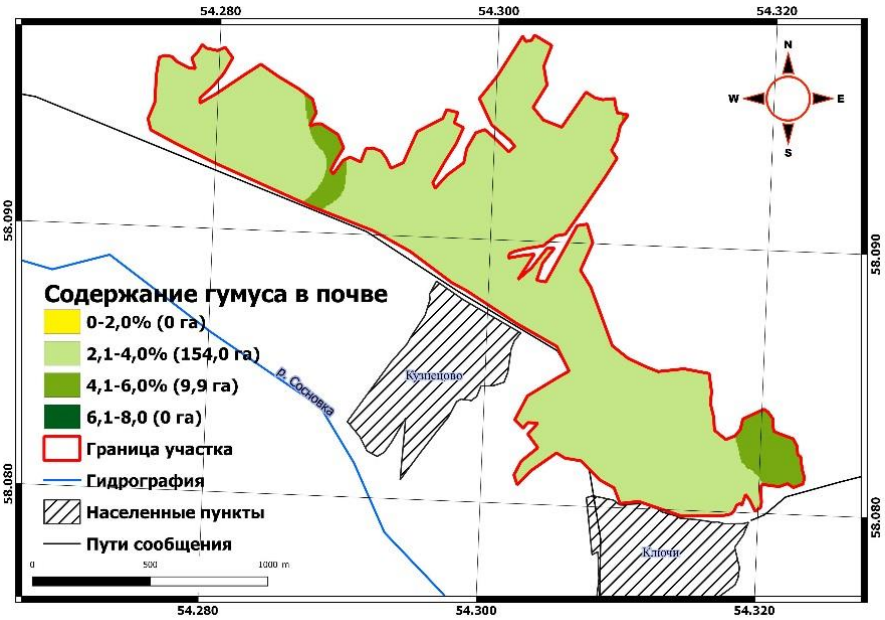


Рис. 7. Картограмма содержания гумуса

Преобладающей реакцией среды является близкая к нейтральной – 56% от общей площади поля (рис. 8). Слабокислые почвы занимают малую площадь (13% площади) и представлены двумя небольшими участками по 1,8 и 20,3 га, соответственно. Эти контуры

рекомендуется произвестковать для достижения однородной pH по всей площади. В центре поля выделяется массив нейтральной pH, соответствующий контуру дерново-карбонатной почвы.

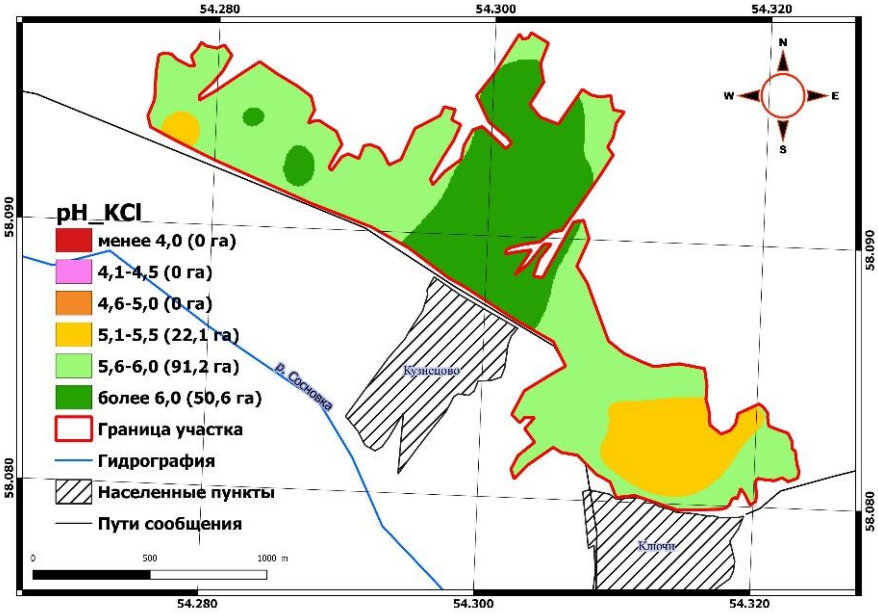


Рис. 8. Картограмма реакции среды почв

Картограмма содержания подвижного фосфора не позволяет отразить варьирование этого свойства, так как значения не выходят за пределы первых двух групп (рис. 9). На фоне низкого диапазона имеется небольшой участок очень низких значений P_2O_5. На данную область рекомендуется внести фосфорные удобрения.

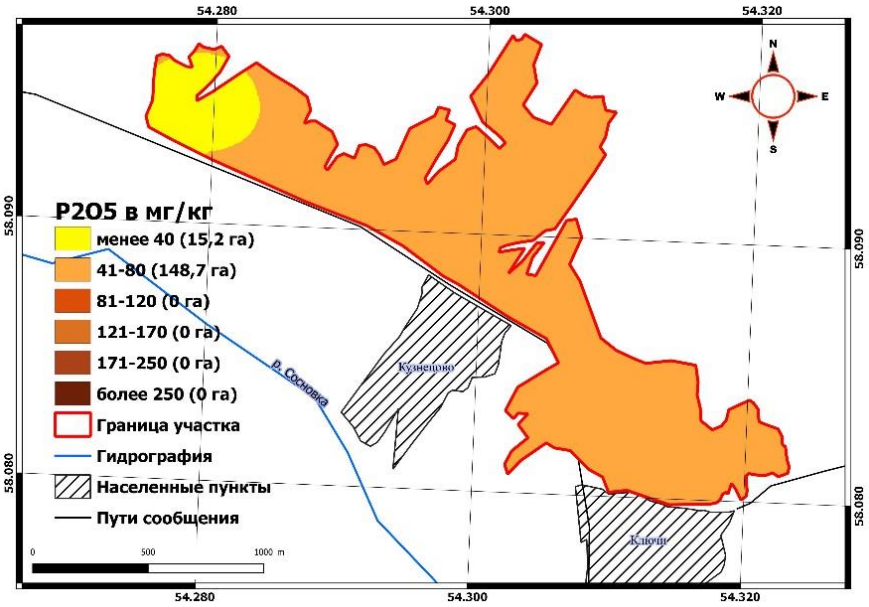


Рис. 9. Картограмма содержания подвижного фосфора в почве

Выводы

Таким образом, методом обыкновенного кригинга построены картограммы агрохимических свойств с правильно подобранными параметрами интерполяции. Параметры основаны на результатах предварительного исследования данных. Из внешних факторов на пространственное распределение свойств влияет рельеф. Точность интерполяции зависит от степени варьирования: наиболее достоверно был спрогнозирован показатель pH с наименьшим варьированием. Почвы имеют характерное для зоны дерново-подзолистых почв содержание гумуса и значительно нуждаются во внесении фосфорных удобрений.

Список использованных источников

1. Интерполяция. Понятие интерполяции / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс]. – http://desktop.arcgis.com (28.12.2019).
2. Мыслова Т.Н., Куцаева О.А. Подлесный А.А. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве // Вестник БГСХА. – 2017. – С. 146-152.
3. Lark R.M. Towards soil geostatistics // Spatial Statistics. – 2012, v. 1. – P. 92–99.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика / под ред. Р.В. Арутюняна. ИБРАЭ РАН. – М.: Наука. – 2010. – 327 с.
5. Каневский М.Ф., Демьянов В.В., Савельева Е.А., Чернов С.Ю., Тимонин В.А. Элементарное введение в геостатистику. Серия Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, №11. – М.: ВИНИТИ. – 1999. – 136 с.
6. Модели кригинга / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс]. – http://desktop.arcgis.com (01.12.2019).
7. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. – Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА». – 2015. – 243 с.
8. Группировки почв сельхозугодий по различным агрохимическим показателям по методическим указаниям (МУ) ЦИНАО1994. [Электронный ресурс]. – https://www.npk-kaluga.ru/gruppirovki.htm (08.12.2019).
9. Упражнение 2. Исследование данных / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс]. – http://desktop.arcgis.com (14.12.2019).
10. Чинилин, А.В. Наумов В.Д. Михальцов В.С. Цифровое картографирование свойств почв методом регрессионного кригинга на примере лесной опытной дачи РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2018, вып. 4. – С. 20-31.

Цитирование:

Чащин А.Н. Картографирование агрохимических свойств почвы с применением обычного кригинга // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_114.pdf.