

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Кафедра почвоведения имени И.В. Тюрина

И.А. САХАБИЕВ, К.Г. ГИНИЯТУЛЛИН, Е.В. СМИРНОВА

**МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКОГО
ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ ДЛЯ
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ
УДОБРЕНИЙ**

Учебно – методическое пособие

**КАЗАНЬ
2025**

УДК 631.4
ББК 40.3
С22

*Принято на заседании учебно – методической комиссии ИЭБиП КФУ
(протокол № 13 от 30 июля 2025 г.)*

Рецензенты:

кандидат биологических наук,
доцент кафедры агрохимии и почвоведения КазГАУ **Л.Г. Гаффарова**;
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший преподаватель кафедры почвоведения имени И.В. Тюрина
ИЭБиП КФУ Л.Ю. Рыжих

Сахабиев И.А., Гиниятуллин К.Г., Смирнова Е.В.

С22 Методика агрохимического обследования почв для дифференцированного внесения удобрений: учебно – методическое пособие / И.А. Сахабиев, К.Г. Гиниятуллин, Е.В. Смирнова. –2025. – 37 с.

В учебно – методическом пособии рассматривается методика проведения агрохимического обследования почв для целей внедрения технологий роботизированного дифференцированного внесения минеральных удобрений. Пособие предназначено для проведения занятий по дисциплинам «Агрохимия» и «Методы точного земледелия», подготовки по направлению 06.03.02 – «Почвоведение». В методическом пособии рассматриваются вопросы связанные со сбором материалов для организации агрохимического обследования почв под внедрение технологий точного земледелия, особенности отбора почвенных образцов для данных целей, методы агрохимического анализа почв, а также вопросы, связанные с созданием интерполированных агрохимических картограмм для разработки карт – заданий (предписаний) для специализированной роботизированной техники дифференцированного внесения минеральных удобрений.

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно – исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно – технологическое развитие Республики Татарстан», соглашение № 39/2024 – ПД.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Тема 1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ.....	5
1.1. Сбор необходимых материалов и создание цифрового плана землепользования хозяйства.....	5
1.2. Создание схемы отбора проб на основе цифрового плана землепользования хозяйства.....	7
1.2.1. Принципы создания схемы отбора агрохимических проб для традиционного внесения минеральных удобрений.....	7
1.2.2. Принципы создания схемы отбора агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений.....	8
1.2.2.1. Принципы создания схемы отбора точечно – локализованных агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений.....	9
1.2.2.2. Принципы создания схемы отбора объединенных агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений.....	12
ТЕМА 2. ПОЛЕВОЙ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭТАПЫ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ.....	15
2.1. Отбор объединенных почвенных проб.....	15
2.2. Подготовка почвенных проб к агрохимическому анализу.....	16
2.3. Агрохимический анализ почвенных проб.....	17
ТЕМА 3. КАМЕРАЛЬНЫЙ ЭТАП АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ.....	19
3.1. Создание интерполированных карт обеспеченности почв доступными для растений элементами питания.....	19
3.1.1. Выбор метода интерполяции агрохимических показателей...	19
3.1.2. Использование ординарного кригинга для создания интерполированных картограмм содержания доступных для растений элементов питания.....	21
3.1.3. Использование метода обратных взвешенных расстояний для создания интерполированных картограмм содержания доступных для растений элементов питания.....	26
3.2. Создание карт – заданий (предписаний) в целях дифференцированного внесения минеральных удобрений.....	28
ЛИТЕРАТУРА.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений модернизации сельскохозяйственного производства является внедрение современных технологий точного (прецизионного, цифрового, координатного) земледелия, которые обеспечивают эффективную организацию полевых работ от посева до уборки возделываемых культур. Наиболее перспективным направлением внедрения технологий точного земледелия считается использование технологий дифференцированного внесения минеральных удобрений. Если традиционное агрохимическое обслуживание полей ориентировано на внесение расчетного количества минерального удобрения в одинаковой дозе на все поле, то роботизированная техника позволяет вносить удобрения в расчетных количествах на каждый отдельный участок поля в зависимости от реального содержания в нем доступных для растений форм элементов питания (NPK). Дифференцированное внесение обеспечивает не только более экономное расходование минеральных туков, но и позволяет получать более высокие урожаи и более качественную продукцию, снижает негативную нагрузку на почвы и сопредельные с ней среды, а также позволяет существенно снизить поступление из пахотных угодий в атмосферу парникового газа – закиси азота.

Вместе с тем необходимо учитывать, что технологии точного земледелия строятся, прежде всего, на оценке пространственно – временной неоднородности почв сельскохозяйственных угодий, а стратегия эффективного применения таких технологий ориентирована на адаптацию систем земледелия к пространственной неоднородности конкретных полей. Очевидно, что продуктивная реализация подходов точного земледелия требует глубокого изучения пространственной неоднородности почв сельскохозяйственных угодий и разработки методов ее количественного описания. Следовательно, методика агрохимического обследования сельскохозяйственных почв для дифференцированного внесения удобрений должна существенно отличаться от прежних методов почвенного обследования, используемых для оценки почв обеспеченностью элементами питания.

ТЕМА 1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

1.1. Сбор необходимых материалов и создание цифрового плана землепользования хозяйства

Важным условием для проведения агрохимического обследования полей, обеспечивающего эффективное внедрение технологий дифференцированного внесения минеральных удобрений, является создание цифрового плана землепользований хозяйства, удовлетворяющего требованиям точного земледелия. Методика создания цифровой картографической основы для агрохимического обследования заключается в сборе материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), пригодных для создания цифрового плана землепользования, создании (корректировке) оцифрованных границ полей в векторном формате. Методика включает оцифровку полей севооборотов с минимальной погрешностью в расхождении положения отдельных участков на местности. Итоговая погрешность оцифровки полей должна составлять не более 1 м на местности. Необходимо также проведение сопоставления оцифрованных участков с данными ДЗЗ и элементами рельефа. Также необходимым условием создания цифрового плана является учет изменений в землепользовании, оценка однородности участков относительно занимаемых культур. На основании предварительного анализа в дальнейшем принимаются решения о корректировке границ участков на местности в полевой период изысканий.

Как основу для создания цифрового плана землепользования можно использовать материалы публичной кадастровой карты РФ [1] или оцифрованные карты землепользований, которые могут быть предоставлены сельскохозяйственным предприятием. На начальном этапе создания плана должен быть проведен поиск данных ДЗЗ, которые в будущем можно использовать для расчета вегетационных индексов, характеризующих состояние сельскохозяйственных культур, а также сбор морфометрических показателей рельефа местно-

сти. В качестве ДЗЗ можно использовать материалы, которые широко используется в почвенно – экологических исследованиях (данные спутников Landsat 5 – 8, Sentinel). Рельеф участка может быть оценен на основе цифровой модели рельефа, полученной из материалов дистанционного зондирования миссии SRTM [2].

После сбора необходимых материалов проводится предварительный анализ информации и сопоставление подготовленных материалов. Для сопоставления подготовленных материалов и составления схемы отбора проб рекомендуется использовать ГИС программу QGIS. Программа QGIS имеет открытый код доступа и может быть свободно установлена на компьютер из сети Интернет. Для работы необходимо предварительно создать в программе набор растровых и векторных данных (расширение файла *.shp). Затем в набор данных можно загружать растровые изображения – картографические материалы, которые могут иметь расширения для файлов, состоящих из пикселей (*.TIFF, *.JPEG, *.PNG и др.). В набор данных также загружаются векторные изображения – оцифрованные границы полей, изолинии рельефа созданные на основе SRTM, материалы, созданные на основе космической съемки. Файлы векторных изображений ГИС программы QGIS имеют расширение *.shp, который совместим с большинством GPS – навигаторов и полевых GPS – контроллеров, с помощью которых в полевой период будут отбираться почвенные образцы для проведения агрохимического анализа.

Предварительный анализ данных ДЗЗ позволяет выявить несоответствия границ полей и реальной современной территории обрабатываемых участков. Причинами несоответствия могут быть изменения в землепользованиях, связанные с реформированием хозяйств. Также несоответствия часто возникают за счет перевода части участков из пашни в залежное состояние, что обычно вызвано различиями в сроках подготовки почвы к технологическим операциям вследствие дифференциации почвы по степени увлажнения, вызванного близким залеганием грунтовых вод. На полях необходимо выявить также зоны различной степени эродированности почв, которые

должны быть учтены при составлении маршрутов отбора проб.

На основании анализа собранных материалов проводится предварительная корректировка границ полей на цифровом плане землепользования по данным ДЗЗ, а при значительном количестве несоответствий принимается решения о необходимости корректировки и уточнения границ участков в полевой период. Полевая корректировка плана землепользования и цифрового плана полей должна проводиться во время рекогносцировочного обследования местности и заключается в проверке координат границ полей с применением GPS – контроллера. Точность геопозиционирования GPS – контроллера, используемого для корректировки границ, должна быть не более 1 м. Полевая корректировка границ полей (при необходимости) должна быть проведена до перехода к следующему этапу – создания схемы отбора проб.

1.2. Создание схемы отбора проб на основе цифрового плана землепользования хозяйства

1.2.1. Принципы создания схемы отбора агрохимических проб для традиционного внесения минеральных удобрений

Отбор объединенных (смешанных) почвенных проб для проведения традиционного агрохимического обследования полей регламентируется в Российской Федерации национальным стандартом ГОСТ Р 58595 – 2019 [3]. Данный стандарт устанавливает требования к отбору проб пахотных земель, почв сенокосов, пастбищ, лесных питомников при агрохимическом обследовании. Необходимость отбора объединенной пробы связана с тем, что даже в пределах небольшого участка, включающую одну классификационную единицу низшего таксономического ранга, почвенные свойства (в том числе и содержание доступных форм NPK) могут весьма заметно варьировать. В таких случаях составление объединенной пробы из достаточного количества индивидуальных проб позволяет нивелировать вариабельность содержания доступных форм NPK на отдельных

участках и получить объективную оценку обеспеченности элементарного участка (или поля в целом) доступными элементами питания. Кроме национального стандарта проведение агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий также регулируют «Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» [4].

Отбору объединенных почвенных образцов должно предшествовать нанесение на цифровой план землепользования сетки элементарных участков – наименьших допустимых площадей, которые можно охарактеризовать одной объединенной пробой почвы. Максимальный допустимый размер элементарного участка устанавливается отдельно для регионов в зависимости от сложности почвенного покрова и рельефа, а также типа использования земель и ежегодного уровня применения фосфорных удобрений. Например, для Республики Татарстан, входящей в Поволжский лесостепной район с преобладанием серых лесных почв, черноземов выщелоченных и типичных, предельно допустимый размер элементарного участка отбора объединенной пробы на неорошаемых пахотных угодьях должен составлять, в соответствии со стандартом, 20 га (при ежегодном внесении фосфорных удобрений менее 60 кг д.в. на га), на орошаемых – 5 га. Рекомендуемая форма элементарного участка по возможности должна приближаться к прямоугольной, с отношением сторон не более 1 : 2. На схеме отбора агрохимических проб в пределах каждого элементарного участка прокладывается маршрутный ход. На неэродированных и слабоэродированных почвах маршрутный ход может прокладываться посередине элементарного участка вдоль его длинной стороны.

1.2.2. Принципы создания схемы отбора агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений

Подходы к отбору почвенных проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений существенно отличаются от традиционного агрохимического обследования. Если в последнем слу-

чае целью агрохимического обследования является расчет доз удобрений, вносимых на поле севооборота в целом и в одной дозе, то в первом случае цель заключается в создании интерполированных картограмм обеспеченности почв доступными формами NPK. В дальнейшем интерполированные картограммы могут использоваться в качестве основы при разработке карт – заданий для роботизированной техники, обеспечивающей дифференцированное внесение минеральных удобрений в ячейках с линейными размерами 18×18 м и менее. При планировании схемы отбора почвенных проб необходимо учитывать определенные требования, обеспечивающие адекватное применение интерполяторов к пространственно – локализованным данным. К примеру, на сегодняшний день при создании надежных интерполированных картограмм содержания доступных форм NPK в основном используется метод ординарного кригинга, соответственно, схему отбора проб необходимо ориентировать под данный метод интерполяции. Необходимо учитывать, что надежная оценка вариограмм для применения ординарного кригинга требует, чтобы они были построены по данным обследования как минимум 100 почвенных образцов, отобранных с обследуемой территории с привязкой к координатам [5]. При использовании метода ограниченного максимального правдоподобия для вычисления параметров базовых моделей вариограмм, считается возможным использование 50–100 пространственно – локализованных данных [6]. Можно выделить два принципиально отличающихся подхода к проведению пробоотбора почв: отбор точно локализованных проб и составление объединенных (смешанных) проб.

1.2.2.1. Принципы создания схемы отбора точно – локализованных агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений

Для построения вариограмм желательно использовать результаты анализов, которые имеют точечную пространственную локализа-

цию, но при этом равномерно и рандомизованно покрывают всю обследуемую территорию. Такой подход исключает смещение и субъективность оценок. В научных исследованиях последнее условие может выполняться при рандомизованном распределении точек отбора образцов по обследуемой территории. Однако применение данного подхода требует достаточно большого количества образцов для равномерного покрытия территории отбора, поэтому часто отдают предпочтение другим методам пробоотбора. При неравномерном покрытии территории (при недостаточном количестве точек опробования) может возникать смещенность оценок содержания в почвах элементов питания.

Альтернативой является отбор почвенных проб из узлов систематической решетки, которой покрывается обследуемое поле или по маршрутным ходам (трансектам), расположенным на одинаковых расстояниях друг от друга. Данный подход обеспечивает равномерность распределения точек отбора, которые располагаются на равных расстояниях друг от друга. Однако, если при систематическом отборе точечных проб фиксированное расстояние между точками будет больше диапазона автокорреляции (см. гл. 3.1.2), то невозможно выяснить истинные причины наггет – эффекта и может возникать так называемый «искусственный наггет». Вместе с тем, даже применение данного подхода сопряжено с необходимостью отбора достаточно большого количества почвенных проб для агрохимического анализа, особенно в условиях точного земледелия. По мнению В.Г. Сычева с соавт. [7, 8] площадь отдельной парцеллы, с которой отбирается точечная проба, не должна превышать 0,5–1,0 га в целях обеспечения точной оценки внутрипольной пестроты почвенного плодородия для внедрения технологий точного земледелия.

В некоторых работах [9, 10, 11] для изучения пространственной внутрипольной неоднородности предлагается использовать стратифицированно – рандомизованный подход к отбору точечных образцов почв. При использовании данного метода пространство сельскохозяйственного поля делится на блоки (страты) прямоугольной формы или лучше в виде многоугольников случайной формы (Рис.1).

Страты должны создаваться примерно одинаковой площади. В каждой страте случайным образом размещаются по одной или несколько точек пробоотбора. При таком отборе почвенных проб расстояния между точками опробования формируются в значительной степени случайно (в выборке присутствуют точки с близким расположением), но при этом точки отбора проб равномерно покрывают всю площадь обследуемого поля.

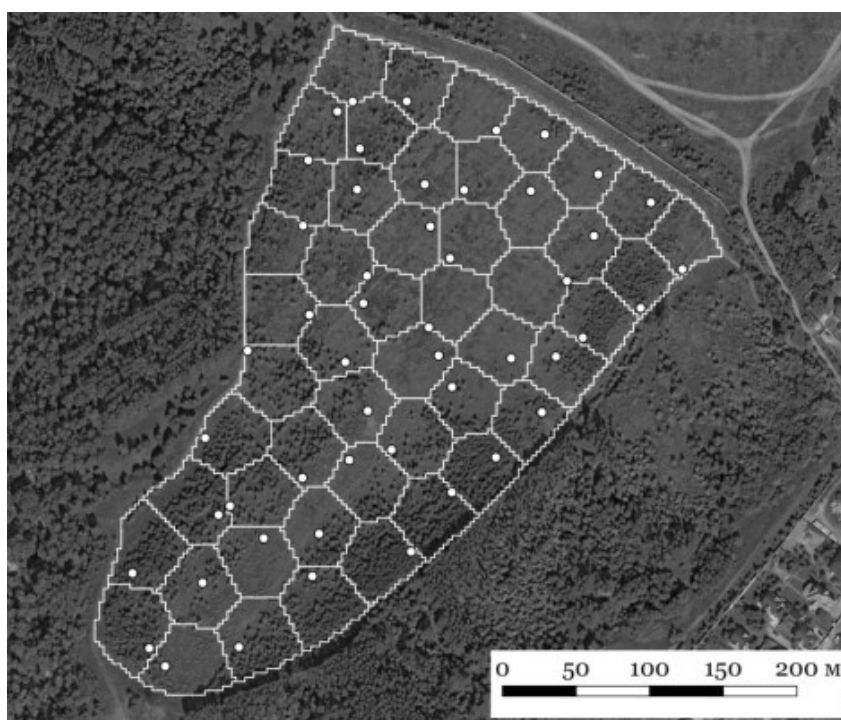


Рис. 1. Отбор точечных почвенных образцов по стратифицированно – рандомизованной схеме. Фигурами неправильной формы представлены страты, точками указаны местоположения отбора проб

Аналогичного эффекта можно добиться при отборе точечных образцов почв по трансектам, если точки опробования на маршрутах задаются на случайных расстояниях друг от друга [11]. Оба подхода к отбору точечных почвенных проб позволяют предотвратить возникновение «искусственного наггета» и получить данные, удовлетворяющие требованиям адекватного применения метода ординарного кригинга для интерполяции агрохимических показателей почв.

1.2.2.2. Принципы создания схемы отбора объединенных агрохимических проб для дифференцированного внесения минеральных удобрений

Альтернативой отбору точечных проб является отбор объединенных (смешанных) образцов, которые также могут использоваться для проведения агрохимического обследования полей для точного земледелия. Возможность успешного применения техник пробоотбора, ориентированных на составление смешанных образцов почв из определенного количества точечных проб, для геостатистического анализа пространственной неоднородности почвенного покрова показана в ряде работ [8, 11, 12]. Вместе с тем замена отбора индивидуальных образцов почв на составление объединенной пробы позволяет получить необходимую надежность оценки почвенного свойства при существенно меньшем объеме выборки [13]. Однако, в подходах к отбору проб для традиционного и точного земледелия есть существенные отличия, которые также необходимо учитывать.

Для отбора объединенных образцов для дифференцированного внесения минеральных удобрений на цифровом плане землепользования сельскохозяйственные поля также должны быть поделены на элементарные участки примерно одинакового размера. Размеры элементарных участков отбора проб должны быть существенно уменьшены по сравнению с размерами, указанными в национальном стандарте ГОСТ Р 58595 – 2019 [3]. Размер элементарных участков должен подбираться с учетом сложности почвенного покрова и рельефа территории, а также среднего размера полей севооборотов. При привязке данных агрохимического анализа объединенных образцов почв к центроидам элементарных участков отбора проб расстояние между соседними центроидами должно быть гарантированно меньше диапазона автокорреляции вариограмм (см. гл. 3.1.2). Например, при обследовании полей Северного Казахстана для оценки перспектив внедрения технологий точного земледелия был проведен отбор объединенных почвенных проб из элементарных участков площадью 20

га, вместо 100 га, установленных государственным стандартом [12]. По данным вариограммного анализа ряд полей характеризовались «искусственным наггетом» (см. гл. 3.1.2), что могло быть связано с недостаточной детализацией пробоотбора. Вместе с тем при обследовании черноземных пахотных угодий Закамья Республики Татарстан нами был проведен отбор объединенных почвенных проб из элементарных участков площадью 5 га, взамен площади 20 га по государственному стандарту [14]. При этом вариограммы характеризовались как транзитивные, обеспечивающие уверенное использование ординарного кригинга для создания интерполированных картограмм агрохимических показателей почв.

Существуют также другие особенности отбора объединенных проб для дифференцированного внесения удобрений. Элементарные участки рекомендуется создавать правильной квадратной формы. Если элементарные участки имеют прямоугольную форму, то при геостатистическом анализе может возникать эффект искусственной анизотропии. Рекомендуется также планирование маршрута обследования не вдоль сторон элементарного участка, а по его диагонали. Фиксация географических координат начала и конца такого маршрута позволяет более надежно привязать данные агрохимического анализа смешанного образца к центроиду элементарного участка на цифровом плане землепользования.

Предлагаются также альтернативные подходы к отбору объединенных почвенных проб для точного земледелия. В некоторых случаях объединенные пробы предлагается составлять из индивидуальных проб, отобранных по стратифицированной рандомизованной схеме. Схема предполагает разделение обследуемого поля на элементарные участки отбора объединенных проб также примерно одинакового размера и квадратной формы. Внутри элементарного участка случайным образом размечается центральная точка отбора индивидуальных проб для составления смешанного образца. Индивидуальные пробы почв отбираются по кругу вокруг центральной точки пробоотбора. Диаметр круга, в пределах которого производят-

ся отбор почвенных проб, может быть значительно меньше выделенных элементарных участков. В работе [11] высказывалось мнение, что данная схема отбора проб дает преимущества при геостатистическом анализе данных, так как вносит элемент случайности. Вместе с тем, нами на примере детального обследования черноземных пахотных угодий Закамья Республики Татарстан было показано, что использование отбора почвенных проб, ориентированного на составление объединенной пробы по диагональному маршруту в пределах элементарного участка с привязкой значения агрохимического показателя к его центроиду, на полях со сложным рельефом и пестрым почвенным покровом обеспечивает получение более точного пространственного прогноза с помощью метода ординарного кригинга по сравнению со страфицированно – рандомизованным методом отбора объединенной пробы [14]. На полях с выровненным рельефом и однородным почвенным покровом оба метода обеспечивают получение карт близких по точности пространственного прогноза [14].

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель создания цифрового плана землепользования для целей точного земледелия?
2. Какие дополнительные данные, помимо границ полей, необходимо учесть и сопоставить при создании цифрового плана?
3. В какой период и с помощью какого оборудования проводится полевая корректировка границ землепользования?
4. Какова цель отбора объединенной (смешанной) пробы?
5. Что такое «элементарный участок отбора проб» и от чего зависит его максимальный размер?
6. Какой стандарт регламентирует отбор почвенных проб в РФ?
7. Чем отличаются отбор проб для дифференцированного внесения удобрений от отбора проб для традиционного обследования?
8. Назовите два принципиально разных подхода к пробоотбору для целей дифференцированного внесения удобрений.
9. Какой недостаток у систематической сетки отбора проб?
10. Что такое «страфицированно – рандомизованный» отбор?

ТЕМА 2. ПОЛЕВОЙ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭТАПЫ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

2.1. Отбор объединенных почвенных проб

Отбор почвенных проб может проводиться в течение всего вегетационного периода. Однако на сельскохозяйственных угодьях, где доза внесенных минеральных удобрений по каждому виду составляла более 90 кг д.в. на га пробоотбор должен проводиться только спустя два месяца после внесения удобрений.

В настоящее время отбор объединенных проб почв для агрохимического анализа и составления традиционных картограмм обеспеченности почв элементами питания растений также проводится с использованием цифровых планов землепользований и GPS – контроллеров. Однако действующий национальный стандарт допускает отбор проб с использованием обычного плана землепользования хозяйства с нанесенными на него элементами внутрихозяйственного землеустройства.

Точечные пробы почв отбирают с помощью специального бура. Необходимо использование тростевых буров типа БП – 25 – 15 или аналогичных, обладающих такими же метрологическими характеристиками (Рис. 2). В пределах каждого элементарного участка индивидуальные образцы почв отбирают равномерно по маршрутному ходу через равные интервалы. Точечные пробы почв нельзя отбирать вблизи дорог, куч органических и минеральных удобрений, мелиорантов, со дна развалных борозд, на участках, резко отличающихся лучшим или худшим состоянием растений. На пахотных угодьях индивидуальные пробы почв должны отбираться на всю глубину пахотного горизонта, на кормовых угодьях – на глубину гумусо – аккумулятивного горизонта, но не глубже 10 см. В зависимости от пестроты агрохимических показателей почв объединенная проба должна состояться из 20–40 точечных, а итоговая масса пробы должна составить не менее 400 г.



Рис. 2. Бур тростевой агрохимический (типа БП – 25 – 15)

Объединенные образцы почв должны отбираться по маршруту, проложенному по диагонали элементарных участков. Для фиксации координат начальной и конечной точки маршрута или центральной точки элементарного участка необходимо использовать полевой GPS – контроллер с точностью геопозиционирования до 1 м.

2.2. Подготовка почвенных проб к агрохимическому анализу

Отобранные агрохимические образцы почв по возможности без задержек должны быть доставлены в лабораторию и доведены до воздушно – сухого состояния высушиванием в сухом проветриваемом помещении. В воздушно – сухих образцах должна быть проведена пробоподготовка к агрохимическому анализу в соответствии с требованиями ГОСТ 29269 – 91 «Почвы. Общие требования к проведению анализов» [15].

Почвенный образец, доведенный до воздушно – сухого состояния, рассыпается целиком на бумаге или кальке, пинцетом удаляются включения (неразложившиеся корни, растительные остатки, кам-

ни). После удаления включений пробу почвы измельчают в фарфоровой ступке и пропускают через сито с круглыми отверстиями диаметром 1–2 мм. При необходимости может быть проведено более тонкое измельчение. Измельченные пробы хранят в матерчатых мешочках, бумажных или полиэтиленовых пакетах, или в специальных контейнерах. Перед взятием навески почвы для проведения анализов почва тщательно перемешивается, далее почва высыпается на ровную поверхность и распределяется слоем не более 1 см. Аналитическая проба отбирается не менее чем из пяти мест в примерно одинаковых количествах.

После проведения предварительной пробоподготовки проводится тестирование почвы на наличие или отсутствия карбонатов с помощью 10 % соляной кислоты. Вскипание почвы при воздействии на нее 10% соляной кислотой свидетельствует о наличии в почве карбонатов. Результаты теста на карбонатность в дальнейшем могут быть использованы для выбора метода определения доступных форм фосфора и калия в почвах.

2.3. Агрохимический анализ почвенных проб

Агрохимический анализ почв для точного земледелия принципиально не отличается от агрохимического анализа, проводимого для целей традиционного агрохимического обследования пахотных угодий. Определение гидролизуемого азота можно проводить в различных образцах почв по методу Корнфилда [16], поскольку присутствие карбонатов на результаты определения доступных форм азота не оказывает влияния. В почвах подзолистых, дерново – подзолистых, серых лесных и других почвах лесной зоны для определения доступного фосфора и обменных форм калия традиционно может использоваться метод Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207 – 91). Определения подвижных соединений фосфора и калия в черноземах, серых лесных и других почв степной и лесостепной зоны, не содержащих карбонаты традиционно определяется методом

Чирикова (ГОСТ 26204 – 91). В сероземах, серо – бурых, бурых, каштановых, черноземах и других почвах пустынной, полупустынной, сухостепной и степной зон, содержащих карбонаты, а также в карбонатных почвах других зон необходимо использование метода Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205 – 91).

В соответствии с требованиями ГОСТ 29269 – 91 «Почвы. Общие требования к проведению анализов» [15] для контроля правильности результатов анализа одновременно с пробами почв в тех же условиях рекомендуется проводить анализ стандартных образцов с составом агрохимических показателей тех типов почв, на которые распространяется действие применяемых методов анализа. Анализ стандартных образцов проводят в однократной повторности. Результаты анализа стандартных образцов не должны отличаться от аттестованных значений более чем на величину отклонений, регламентированных соответствующими стандартами. Если это требование не выполняется, результаты анализа всей партии проб признаются неправильными. Анализ должен быть повторен после выявления и устранения причин, вызвавших искажение результатов.

Контрольные вопросы

1. В какой период можно проводить отбор почвенных проб?
2. Перечислите не менее четырех мест на поле, где запрещено отбирать точечные пробы почвы. Почему это важно?
3. На какую глубину необходимо отбирать пробы на пахотных угодьях и на кормовых угодьях (сенокосы, пастбища)?
4. Из какого количества точечных проб составляется объединенная проба и какой должна быть ее минимальная итоговая масса?
5. Какие требования предъявляются к GPS – контроллеру для фиксации координат и почему именно такие?
6. Что необходимо сделать с почвенными пробами после доставки в лабораторию?
7. Опишите последовательность действий при подготовке воздушно – сухого образца почвы к анализу.
8. С какой целью и с помощью какого реактива проводят пред-

варительное тестирование почв? О чем говорит реакция теста?

9. Что такое «стандартный образец» (СО) и какова его роль в контроле качества лабораторных анализов?

10. В какой повторяемости анализируют стандартный образец и какое условие является критерием правильности результатов всей партии проб?

ТЕМА 3. КАМЕРАЛЬНЫЙ ЭТАП АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

3.1. Создание интерполированных карт обеспеченности почв доступными для растений элементами питания

3.1.1. Выбор метода интерполяции агрохимических показателей

В настоящее время в цифровой почвенной картографии разработано множество методов, позволяющих провести пространственный прогноз изменения целевой переменной (Z). Процедура создания цифровых карт внутрипольной пространственной неоднородности почвенного покрова сводится, как правило, к интерполяции значений целевой переменной в обследованных точках пространства на участки, где не был проведен отбор проб в пределах обследуемого пространства. В практическом плане это означает покрытие исследуемой территории густой сетью произвольно задаваемого количества интерполированных точек с прогнозными значениями Z на основании данных значений Z' , полученных аналитическим определением для ограниченного числа точек с известными координатами.

Для решения данной задачи могут использоваться детерминированные интерполяторы: метод обратных взвешенных расстояний (IDW), радиальных базисных функций (RBF), локальных полиномов (LP) и др. При использовании детерминированных интерполяторов процедура пространственного прогноза проводится непосредственно на значениях целевой переменной в точках опробования. При приме-

нении геостатистических интерполяторов (простой кригинг, ординарный кригинг, универсальный кригинг, индикаторный кригинг и др.) пространственный прогноз основывается на предварительном вариограммном анализе пространственных данных. В настоящее время в цифровой картографии почв находят широкое применения более сложные методы создания цифровых карт, в которых наряду со значениями целевой переменной в точках опробования используются вспомогательные предикторы, применение которых позволяет существенно улучшить качество пространственного прогноза и увеличить точность цифровых карт. В качестве вспомогательных предикторов, как правило, используются данные ДЗЗ – спектральные индексы, рассчитанные по значениям отражательной способности открытой поверхности почвы, вегетационные индексы, рассчитанные по отражательной способности растительности, морфометрические атрибуты рельефа, получаемые из цифровых моделей рельефа. Для создания цифровых карт в данном случае используются более сложные методы обработки пространственных данных – регрессионный кригинг, методы машинного обучения (случайный лес, опорные вектора, деревья решений и др.). В последнее время все более широкое применение находят методы, основанные на анализе нейронных сетей, а также различные гибридные методы на их основе.

Несмотря на большое разнообразие методов создания цифровых моделей пространственной неоднородности почвенного покрова, в практике агрохимического обследования пахотных угодий используется очень ограниченный набор интерполяторов. Если количество точек отбора почвенных проб из отдельного сельскохозяйственного поля удовлетворяет требованиям для использования геостатистических интерполяторов (см. гл. 1.2.2.) или если есть возможность объединения нескольких граничащих друг с другом полей в единый кластер интерполяции, то, как правило, используется метод ординарного кригинга. Если же поле изолировано и количество точек для процедуры ординарного кригинга является недостаточным, то необходимо применять метод детерминированной интерполяции (к примеру, метод

IDW). Эти интерполяторы, как правило, входят в стандартный набор, который используются в программах ведения сельскохозяйственного производства, включающие обработку данных для точного земледелия (например, SMS Advanced, Panorama Agro и др.).

При построении интерполированных карт методом ординарного кригинга можно использовать как минимум две разновидности метода. В варианте точечного ординарного кригинга используются значения агрохимического показателя почв, привязанные к центроидам элементарного участка отбора проб. Второй метод использует географическую привязку значений элементов питания к блокам, имеющим размер, близкий к усредненной площади элементарных участков отбора объединенных проб. В этом случае метод называется блочным кригингом. Авторами было показано, что первый метод показывает лучший пространственный прогноз содержания элементов питания [17]. Таким образом, для построения интерполированных карт агрохимических показателей почв данные о содержании NPK рекомендуется привязывать к центроидам элементарных участков и использовать точечный вариант метода ординарного кригинга.

3.1.2. Использование ординарного кригинга для создания интерполированных картограмм содержания доступных для растений элементов питания

В основе метода ординарного кригинга лежит вариограммный анализ закономерностей пространственного распределения целевой переменной в точках опробования. Вариограмма представляет собой функцию, которая описывает изменение степени различия (полудисперсия) между значениями какого – либо показателя (например, содержание NPK) в зависимости от расстояния между точками измерений. Таким образом, с помощью анализа вариограмм определяется значение полудисперсии, а также расстояние, на котором происходит автокорреляция целевого показателя. Если вариограмма рассчитыва-

ется на основании измерений показателя в отдельных точках, то для расчета полудисперсии $\gamma(h)$ используется формула [18]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x+h)]^2$$

где $N(h)$ – количество пар точек, удаленных друг от друга на расстояние h , x – пространственная координата точек.

Вариограмма представляет собой график, который позволяет описать и количественно оценить пространственную изменчивость исследуемого показателя. Выделяют изотропные вариограммы, когда величина $\gamma(h)$ зависит от $h = |h|$, но не зависит от направления, и анизотропные вариограммы, когда $\gamma(h)$ зависит как от h , так и от направления. При проведении вариограммного анализа к экспериментальной вариограмме подбирается теоретическая вариограмма, которая наилучшим образом описывает распределение полудисперсии в зависимости от расстояния. При выборе теоретической модели используются функции, описанные в специализированной литературе. При использовании ординарного кригинга теоретическая вариограмма должна иметь транзитивный характер, т.е. полудисперсия с увеличением расстояния между точками должна увеличиваться, но на определенном расстоянии должна выходить на плато. Для аппроксимации транзитивных вариограмм могут использоваться сферические, экспоненциальные и гауссовы теоретические модели, но с обязательной оценкой точности аппроксимации. Только после построения вариограммы может осуществляться непосредственно пространственный прогноз распределения агрохимических показателей в почвах с применением метода ординарного кригинга.

На рисунке 3. представлен образец транзитивной вариограммы (рисунок взят из книги Ю.Л. Мешалкиной с соавторами [18]).

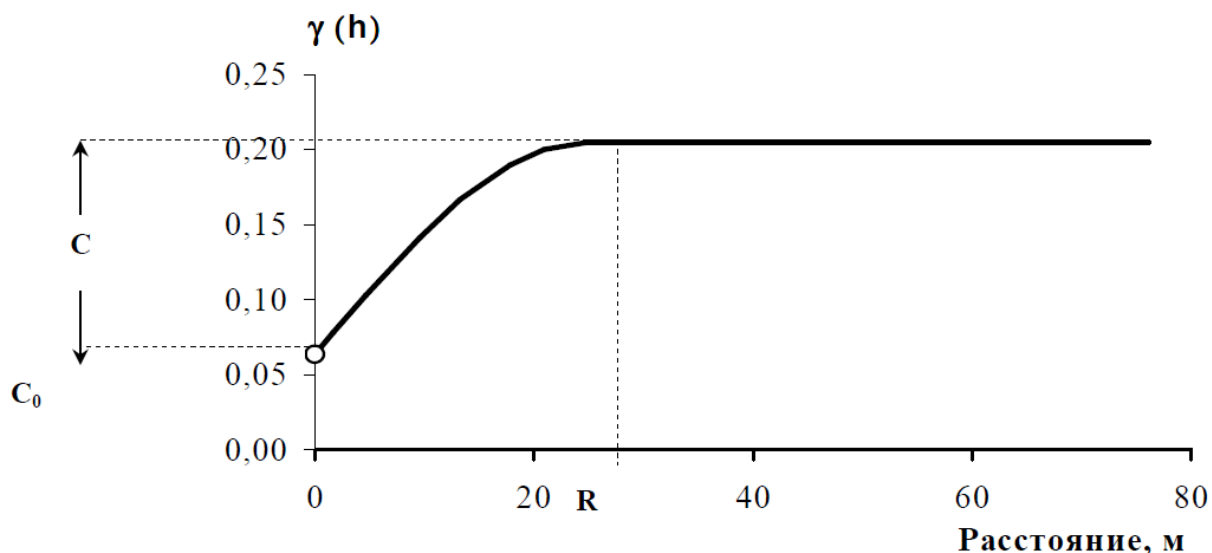


Рис. 3. Образец транзитивной вариограммы с ее основными характеристиками [18]

Символом « C_0 » на рисунке 3 обозначен параметр вариограммы под названием «наггет – эффект» или «эффект самородка», характеризующий случайное пространственное варьирование целевой переменной Z .

Символ « C » обозначает «частичный порог» вариограммы, представляющий часть общей дисперсии целевого показателя, которая может быть объяснена пространственной автокорреляцией на расстояниях, меньших диапазона (R) вариограммы.

Параметр « $C_0 + C$ » определяет «общий порог» вариограммы и показывает при каком значении величина полудисперсии перестает возрастать с увеличением расстояния между точками (т.е. выходит на плато).

Параметр « R » – ранг или диапазон автокорреляции, который показывает значение расстояния, на котором между точками опробования кривая вариограммы выходит на плато, т.е. происходит затухание пространственной автокорреляции.

Для оценки пространственной зависимости целевой переменной используют отношение $C_0 / (C + C_0)$. Значения $C_0 / (C + C_0) \leq 25 \%$

свидетельствуют о наличии сильной пространственной зависимости, значения от 25 % до 75 % – о средней зависимости, значения > 75 % – о слабой пространственной зависимости [19]. Транзитивный характер вариограммы свидетельствует о наличии регулярной пространственной изменчивости, проявляющейся на расстояниях, не выходящих за пределы минимального и максимального шагов опробования (лагов).

На завершающем этапе вариограммного анализа закономерностей формирования пространственной неоднородности целевой переменной строится модель теоретической вариограммы на основе параметров экспериментальной вариограммы, которая в дальнейшем будет использована для проведения процедуры кригинга и нахождения необходимых оценок изучаемой целевой переменной.

Моделью вариограммы может служить только функция, для которой выполнено условие положительной определенности. Положительная определенность модели вариограммы гарантирует, что уравнения кригинга, построенные с ее применением, имеют единственное устойчивое решение. Данные функции, называются базисными моделями. Базисные модели, как правило, просты по форме и имеют один или два параметра [20]. При вариограммном анализе данных внутрипольной пространственной неоднородности агрохимических показателей почв наиболее широкое применение находят применение сферические и экспоненциальные модели.

Сферические модели. На рисунке 4 представлен внешний вид вариограммы, удовлетворяющий условиям использования сферической модели (рисунок взят с изменениями из книги А.А. Савельева с соавторами [20]).

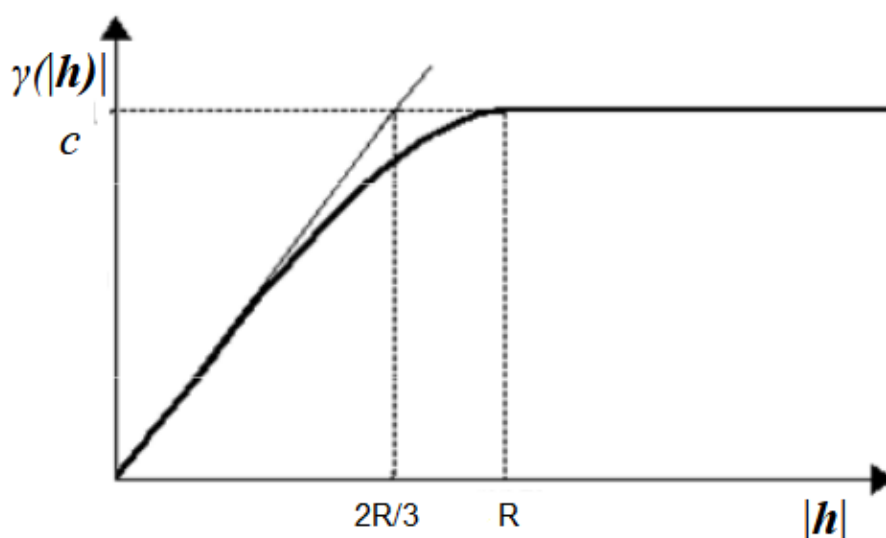


Рис. 4. Сферическая модель вариограммы [20]

Уравнение сферической модели записывается как [20]:

$$\gamma(|h|) = c \cdot Sph_R(|h|) = \begin{cases} c \cdot [1,5 \frac{|h|}{R} - 0,5(\frac{|h|}{R})^3] , & \text{если } |h| \leq R \\ c, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

где R – ранг, c – вклад дисперсии или порог.

Сферическая модель соответствует линейной зависимости от начала координат и достигает порога на расстоянии ранга. При выборе сферической модели необходимо ориентироваться на то, что касательная из начала координат достигает порога на расстоянии примерно $2/3$ от значения ранга [20].

Экспоненциальная модель. На рисунке 5 представлен внешний вид вариограммы, наиболее удовлетворяющий условиям использования экспоненциальной модели (рисунок взят с изменениями из книги А.А. Савельева с соавторами [20]).

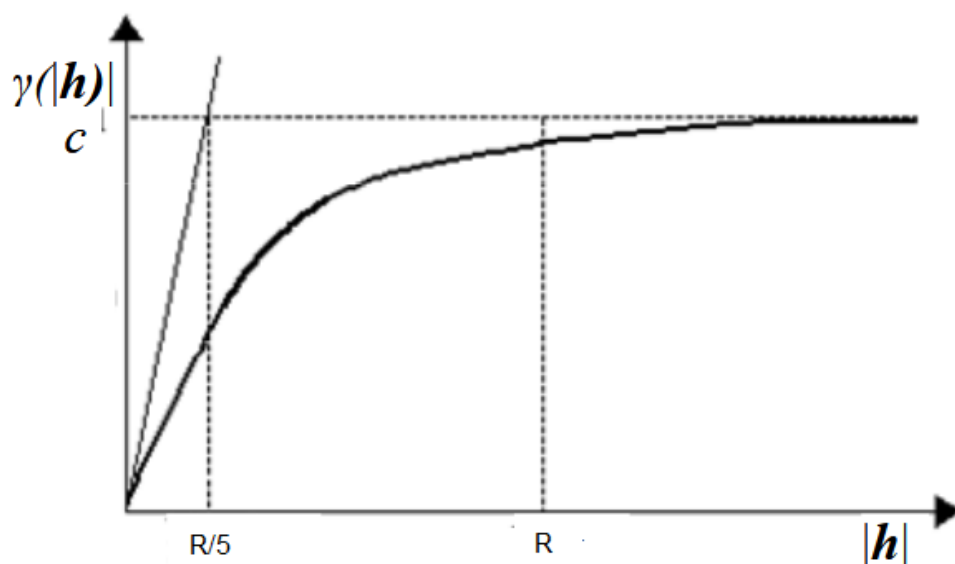


Рис. 5. Экспоненциальная модель [20]

Уравнение экспоненциальной модели записывается как [20]:

$$\gamma(|h|) = c \cdot \text{Exp}_R(|h|) = c \left[1 - e^{-3\frac{|h|}{R}} \right],$$

где R – фактический ранг, то есть расстояние, на котором значение вариограммы составляет 95 % от порога, c – вклад дисперсии или порог.

Экспоненциальная модель достигает значения порога асимптотически и также характеризуется линейным ростом в начале координат. При использовании данной модели, полезно помнить, что касательная из точки начала координат достигает значения порога на расстоянии примерно $1/5$ величины ранга [20].

Оптимальная для описания экспериментальной вариограммы модель в дальнейшем будет использована для создания интерполированной карты с использованием процедуры ординарного кригинга.

3.1.3. Использование метода обратных взвешенных расстояний для создания интерполированных картограмм содержания доступных для растений элементов питания

Несмотря на то, что метод обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting, IDW) входит в стандартный набор интер-

поляторов, которые используются в программах обработки пространственных агрохимических данных для целей точного земледелия, его использование рекомендуется в случае невозможности применения геостатистических методов, характеризующихся более надежным пространственным прогнозом. Метод IDW относится к жестким детерминированным интерполяторам, когда прогнозное значение Z_{s_0} в точке опробования совпадает с экспериментально определенным значением Z_{s_i} . В основе применения метода IDW лежит предположение о том, что значения целевой переменной в более близких точках опробования оказывают более сильное влияние на прогнозируемые значения в интерполируемых точках, чем значения в точках опробования, которые расположены на более значительных расстояниях. Другими словами удельный вес влияния на прогнозируемые значения обратно пропорционален расстоянию до точек опробования.

Расчет прогнозного значения целевой переменной $Z(s_0)$ в определенной точке пространства проводится по формуле [21]:

$$\widehat{Z(s_0)} = \sum_{i=1}^n Z(s_i) \cdot w_i ,$$

где $Z(s_i)$ – значение целевой переменной (содержание NPK) в i – ой точке опробования, n – количество выбранных точек, w_i – расчетный вес влияния i – ой точки опробования на прогнозное значение целевой переменной $Z(s_0)$.

Расчет веса влияния проводится по формуле [21]:

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\beta}},$$

где d_i – расстояние между точкой s_i и точкой s_0 , где необходимо сделать пространственный прогноз; β — степенной параметр, который определяет степень предпочтения более близких местоположений отбора проб более удаленным.

Величина степенного параметра β определяет, как быстро будет уменьшаться вес влияния точки с увеличением расстояния до нее. Если значение β указать слишком высоким, то на результат интерполяции будут оказывать влияние только точки, расположенные в непосредственной близости к интерполируемой точке. При меньших значениях β веса влияния распределяются более равномерно между соседними точками данных. На практике, как правило, значения параметра β устанавливаются в диапазоне от 1 до 3 [22], в пакетах программ по умолчанию устанавливается значение $\beta = 2$.

3.2. Создание карт – заданий (предписаний) в целях дифференцированного внесения минеральных удобрений

Для создания карт – заданий внесения минеральных удобрений рекомендуется использовать лицензированные компьютерные программы, ориентированные на информационное обслуживание сельскохозяйственного производства, включающее обеспечение использования технологий дифференцированного внесения минеральных удобрений (SMS Advanced, Panorama Agro и др.). В данной главе рассматривается создание карт заданий в программе SMS Advanced.

Программа SMS Advanced имеет набор инструментов, предназначенных для составления агрохимических картограмм и карт – заданий (предписаний) для внесения удобрений и мелиорантов, впоследствии используемых в бортовых компьютерах сельскохозяйственной техники. Предварительные этапы составления карт – заданий в программе SMS Advanced включает в себя загрузку экстрагированных из растровых изображений интерполированных картограмм значений содержания гидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия, а также загрузку векторных данных соответствующих сельскохозяйственных полей в виде векторных форматов (*.shp, *.mif). Контроль участков поля с наличием эродированных зон осуществляется путем сопоставления интерполированных картограмм с данными дистанционного зондирования, встроенными в модуль

«Карта» программы SMS Advanced. Для этого осуществляется геореференцирование растровых данных по положению полей. В качестве системы координат можно использовать различные проекции, допустимые для применения в программе SMS Advanced. Наиболее приемлемым является использование географических координат в универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM). На рис. 6. представлен интерфейс программы SMS Advanced, в которой поводится геореференцирование растровых изображений.

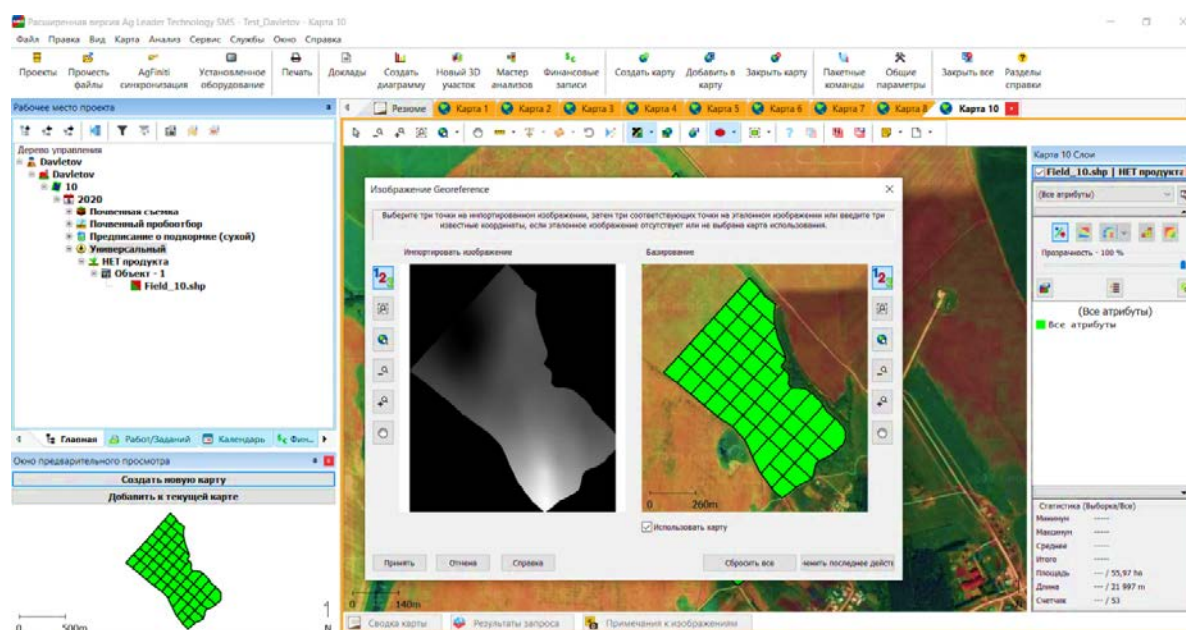


Рис. 6 Геореференцирование растровых изображений

Значения интерполированных картограмм необходимо перевести в векторный формат. На рисунке 7 в качестве примера представлен векторный формат интерполированной картограммы содержания подвижного фосфора почв.

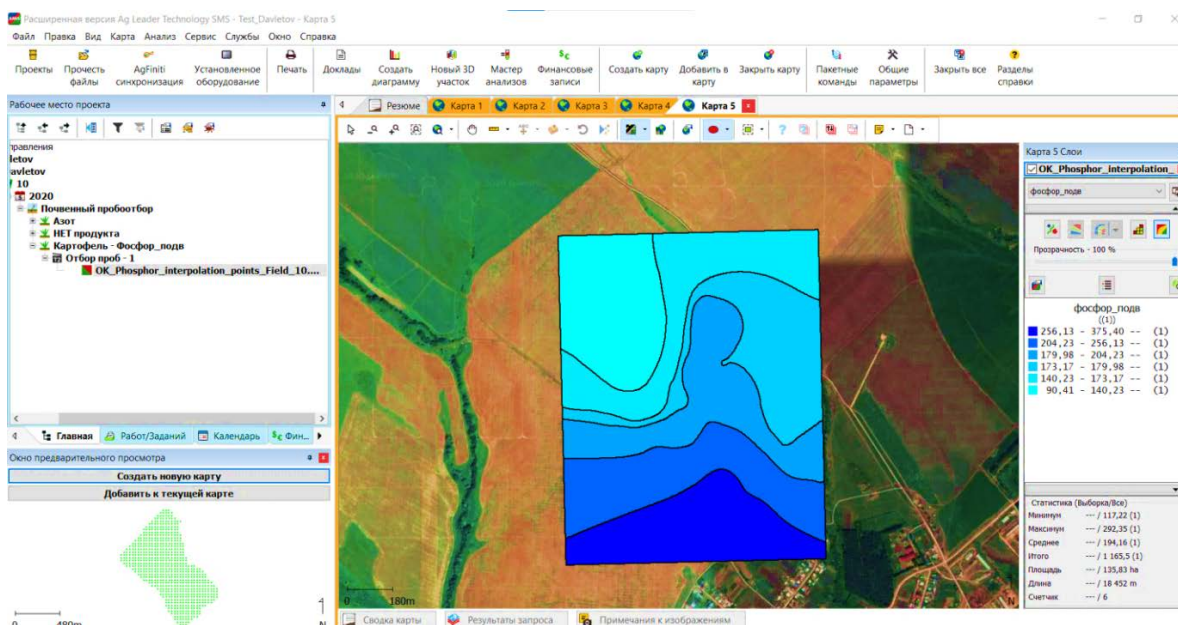


Рис. 7. Представление данных в векторном формате

С использованием полученной интерполированной картограммы в векторном формате должен быть осуществлён расчет доз дифференцированного внесения удобрений для каждого обследованного поля. В практике агрохимического обследования используются различные методы расчета доз минеральных удобрений по данным агрохимического обследования полей. В основном используют два типа методов – нормативные и балансово – расчетные. Нормативные методы основаны на нормативах внесения элемента питания для получения единицы урожая сельскохозяйственной культуры. Данный метод не может быть использован для целей дифференцированного внесения удобрений. Балансово – расчетные методы основаны на балансе выноса элемента питания с урожаем и побочной продукцией, поступлении элемента питания из почвы, а также поступлении элемента питания из внесенных органических удобрений с дальнейшим последствием органических и минеральных удобрений, внесенных под культуру – предшественник. Существуют два основных подхода к балансовому расчету доз удобрений: с дифференциацией коэффициента использования культурой элемента питания из почвы в зависимости от уровня обеспеченности почвы данным элементом и без

дифференциации. Последний метод является наиболее приемлемым для расчета доз минеральных удобрений для дифференцированного внесения, поскольку при его использовании в формуле расчета доза удобрений связана обратной зависимостью с содержанием доступной формы элемента питания в почве. Формула расчета доз удобрений должна быть предварительно прописана в модуле «Анализ на основе формулы» программы SMS Advanced (Рис.8).

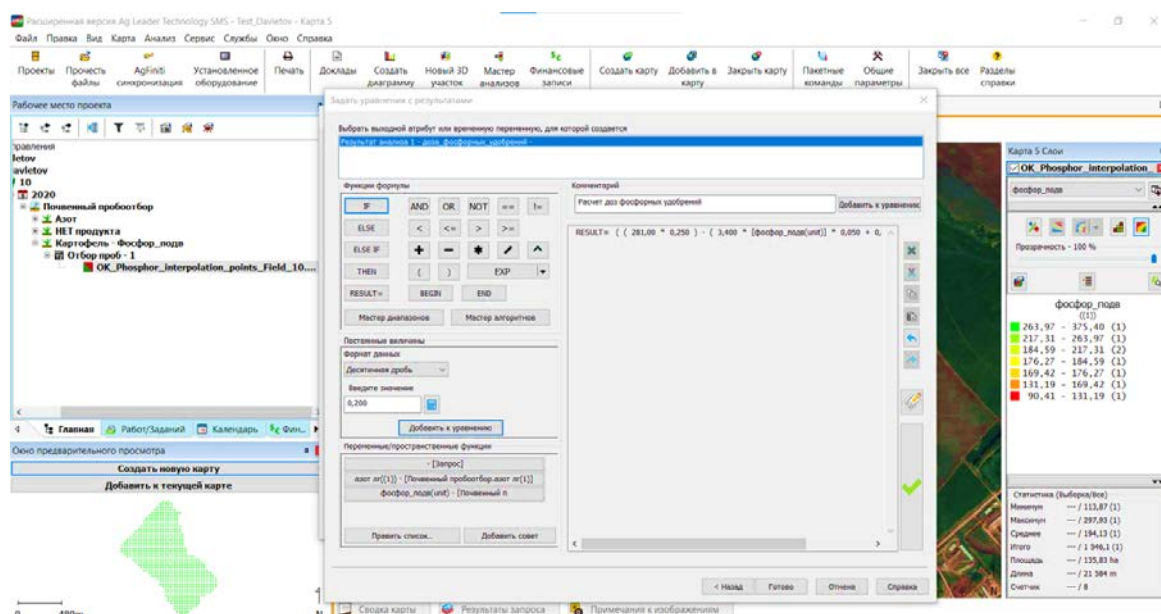


Рис. 8. Пример записи уравнения расчета доз внесения фосфорных удобрений в модуле программы SMS Advanced

В модуле создания предписаний осуществляется создание карт – заданий дифференцированного внесения удобрений под отдельное сельскохозяйственное поле в зависимости от марки используемой роботизированной техники и предполагаемого размера ячеек. На рисунке 9 представлен пример интерфейса программы с предварительным предписанием при размере ячеек внесения 18×18 м.

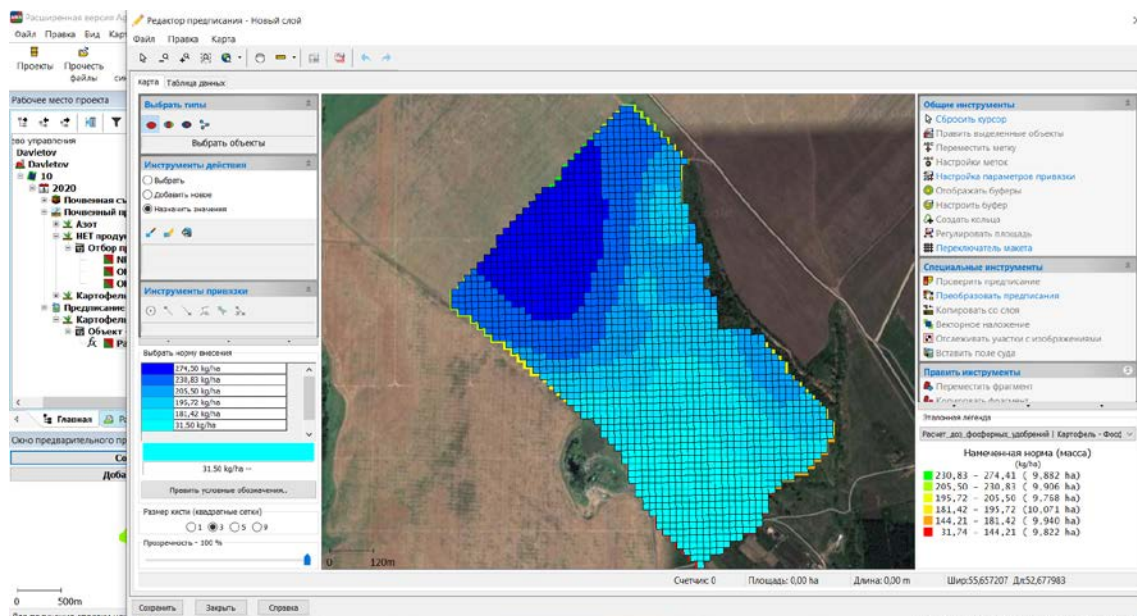


Рис. 9. Пример карты – задания дифференцированного внесения фосфорных удобрений, созданной в программе SMS Advanced.

В дальнейшем программа позволяет экспортировать созданную карту – задание в бортовые компьютеры сельскохозяйственной техники, в ГИС – системы, также возможен экспорт данных в форматы, используемые большинством текстовых редакторов (Рис. 10).

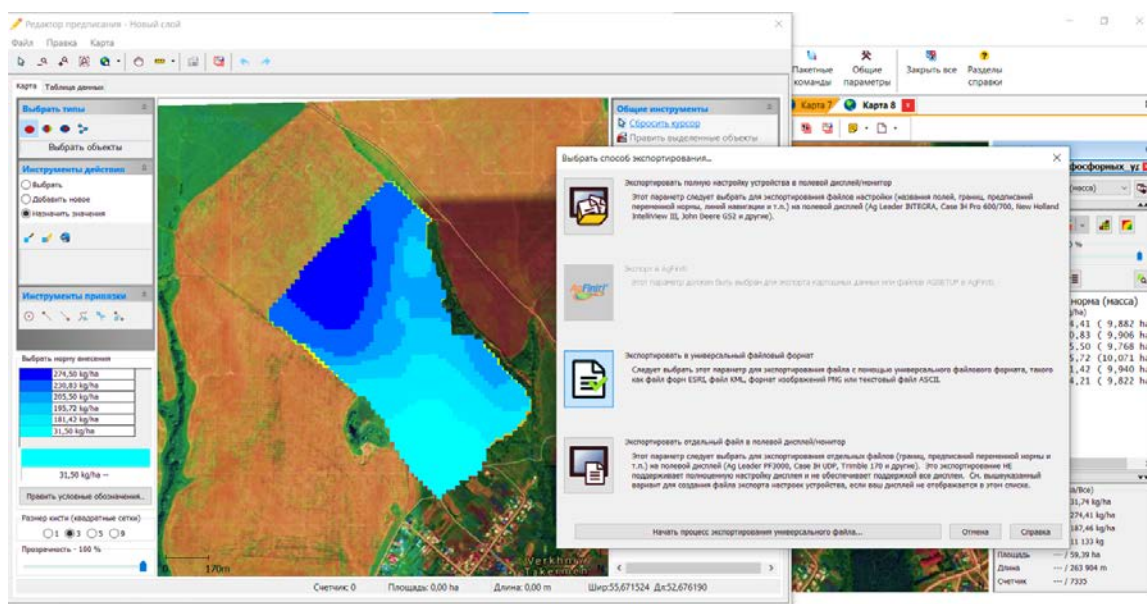


Рис. 10. Возможности экспорта карт – заданий в бортовые компьютеры сельскохозяйственной техники

Контрольные вопросы

1. Чем принципиально отличаются детерминированные методы интерполяции (IDW, RBF) от геостатистических (кригинг)?
2. Какой метод интерполяции более предпочтителен для агрохимического обследования? Какие условия его использования?
3. В каком случае рекомендуется использовать метод обратных взвешенных расстояний (IDW) вместо кригинга?
4. Дайте определение вариограммы. Что она описывает?
5. Чем изотропная вариограмма отличается от анизотропной?
6. Что такое транзитивный характер вариограммы?
7. Опишите главное визуальное отличие сферической и экспоненциальной моделей на графике. На каком расстоянии каждая из них достигает порога?
8. Сформулируйте основное предположение метода IDW.
9. Какой метод расчета доз удобрений является предпочтительным для точного земледелия и почему?
10. Сравните сильные и слабые стороны методов ординарного кригинга и IDW. В какой ситуации вы выберете каждый из них?

ЛИТЕРАТУРА

1. Публичная кадастровая карта Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://кадастр.сайт/%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0#lat=57.016811&lng=48.606262&zoom=13&ct=55.598753&cg=49.889774 (дата обращения: 15.09.2025).
2. *Jarvis A. Hole – filled SRTM for the globe: version 4: data grid / A. Jarvis, H. I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara* – URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/> (дата обращения: 15.09.2025).
3. ГОСТ Р 58595 – 2019. Почвы. Отбор проб. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168814?marker=7D20K3> (дата обращения: 13.09.2025)
4. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с
5. *Webster R. Sample adequately to estimate variograms of soil properties / R. Webster, M.A. Oliver // J. Soil Sci.* – 1992. – V. 43. – No 1. – P. 177–192.
6. *Kerry R. Sampling in Precision Agriculture/ R. Kerry, V.A. Oliver, Z.L. Frogbrook // Geostatistical Applications for Precision Agriculture.* – Springer Science + Business Media B.V., 2010. – P. 35–64.
7. *Сычев В.Г. Робототехника в технологиях точного земледелия / В.Г. Сычев, Р.А. Афанасьев // Плодородие.* – 2016. – № 3 (90). – С. 2–6.
8. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. – М.: ВНИИА, 2007. – 36 с.
9. *Brus D.J. A sampling scheme for estimating the mean extractable phosphorus concentration of fields for environmental regulation / D.J. Brus, L.E.E.M. Spätjens, J.J. de Gruijter // Geoderma.* – 1999. – V. 89. – No 1–2. – P. 129–148.
10. *Walvoort D.J.J. An R package for spatial coverage sampling and*

random sampling from compact geographical strata by k-means /

D.J.J. Walvoort, D.J. Brus, J.J. de Gruijter // *Comput. Geosci.* – 2010. – V. 36. – No 10. – P. 1261–1267.

11. *Geostatistical Applications for Precision Agriculture* / Ed. by M.A. Oliver. – Springer Science + Business Media B.V., 2010. – 331 p.

12. *Гиниятуллин К.Г.* Использование геостатистических методов для характеристики вариабельности агрохимических свойств (на примере изучения пахотных угодий Северного Казахстана) /

К.Г. Гиниятуллин, С.С. Рязанов, Б.Р. Григорьян, И.В. Шакирзянов, Р.В. Шакирзянов, Е.С. Ваганова, А.Г. Галиуллина // *Учен. зап. Казан. ун – та. Сер. естеств. науки.* – 2016. – Т. 158. – Кн. 2. – С. 259–276.

13. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. – М.: Изд – во Моск. ун – та, 1972. – 292 с.

14. *Сахабиев И.А.* Оценка разных схем составления объединенных проб для создания интерполированных карт обеспеченности пахотных угодий доступными элементами питания / И.А. Сахабиев, Е.В. Смирнова, К.Г. Гиниятуллин, К.А. Гордеева, Л.И. Латыпова // *Плодородие.* – 2020. – 4 (115). – С. 47–52.

15. ГОСТ 29269 – 91. Почвы. Общие требования к проведению анализов. – М.: Стандартинформ, 2005. – 4 с.

16. Методические указания по определению щелочногидролиземого азота в почве по методу Корнфилда / под ред. Л.М. Державина. – М: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО), 1985. – 9 с.

17. *Smirnova, E.V.* Comparison of interpolated soil nutrients maps obtained with application of various approaches of ordinary kriging / E.V. Smirnova, K.G. Giniyatullin, I.A. Sahabiev, R.V. Okunev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2020. – V.548(3). – Art.032027.

18. *Мешалкина Ю.Л.* Геоинформационные системы в почвоведении и экологии / Ю.Л. Мешалкина, И.И. Васенев, И.Ф. Кузякова, В.А. Романенков. – М.: РГАУ – МСХА, 2010. – 95 с

19. *Cambardella C.A.* Field – scale variability of soil properties in

central Iowa soils / C.A. Cambardella, T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, A.E. Konopka // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1994. – V. 58. – No 5. – P. 1501–1511.

20. *Савельев А.А.* Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R) / А.А. Савельев, С.С. Мухарамова, А.Г. Пилюгин, Н.А. Чижикова. – Казань: Казан. ун – т, 2012. – 120 с.

21. *Wong D.W.S.* Interpolation: Inverse – Distance Weighting / D.W.S. Wong // The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology – John Wiley & Sons, 2017. – P.1–11.

22. *Мальцев К.А.* Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учебное пособие / К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова. – Казань: Казанский университет, 2014. – 103 с.

Учебное издание

**Сахабиев Ильназ Алимович,
Гиниятуллин Камиль Гашикович,
Смирнова Елена Васильевна**

**МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКОГО
ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ ДЛЯ
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ
УДОБРЕНИЙ**

Учебно – методическое пособие