

УДК 631.48

Пространственное моделирование органического вещества почвы опытных делянок на основе данных с БПЛА

Чащин А.Н., Акманаева Ю.А.

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Аннотация

В статье представлены результаты пространственного геостатистического и регрессионного моделирования органического вещества почвы опытного участка на территории Учебно-научного-опытного поля ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. Цель исследований – моделирование пространственного распределения органического вещества почвы опытного участка с применением данных БПЛА-съемки. Область исследований охватывает участок, состоящий из 20 делянок одного из опытных полей площадью 0,34 га, на который 12 сентября 2023 года была выполнена БПЛА-съемка и проанализировано содержание органического вещества. Пространственное моделирование проведено геостатистическим и регрессионным методами на основе 20 точек, представляющих центроиды опытных делянок. В результате исследований установлена средняя связь содержания органического вещества с высотными отметками и расстоянием до водотоков. При регрессионном моделировании происходит сужение диапазона значений примерно на 0,5% от минимума и максимума по сравнению с геостатистической моделью распределение органического вещества.

Ключевые слова: БПЛА, ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Введение

Органическое вещество почвы является значимым фактором почвенного плодородия. Его распределение по площади полей может иметь неравномерный характер. Особенно это проявляется в сложных геоморфологических условиях Среднего Предуралья, имеющих существенный эрозионный потенциал. Для изучения особенностей распределения органического вещества на сельскохозяйственных полях со сложным

рельефом, применяются методы пространственного моделирования, основанные на цифровых моделях высот [1]. На сегодняшний день перспективным инструментом получения цифровой модели высот опытного поля являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) коптерного типа [2]. Они служат инструментом получения цифровых пространственных данных для моделирования и картографирования показателей плодородия почв [3].

В связи с этим **целью настоящих исследований** стало моделирование пространственного распределения органического вещества почвы опытного участка с применением данных БПЛА-съемки.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились на территории Учебно-научного опытного поля ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, расположенном в Пермском муниципальном округе Пермского края. В пределах опытного поля был определён участок, включающий 20 делянок. Почва участка – дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая. Для создания ортофотоплана участка была проведена БПЛА-съемка. Модель БПЛА – DJI mini 2 (учётный номер РОСАВИАЦИИ 0u66296). Дата съёмки 12.09.2023 г. Высота съёмки 50 м. Для проведения съёмки было получено разрешение Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Номер режима ВР 8744. Запрос временного режима осуществлялся через систему «Небосвод». Полученный ортофотоплан и отвекторизованные по нему делянки представлены на схеме расположения опыта (рис. 1).

Исследования органического вещества в почве включали отбор смешанных проб по 20 делянкам, лабораторное определение по ГОСТ 26213–84. Геостатистическое моделирование распределения органического вещества проведено инструментом Geostatistical Analyst программы ArcGIS 10.8 [4-6]. Был применен метод «Обычный Кригинг». Создание ортофотоплана и цифровой модели рельефа выполнено при помощи Веб-сервиса drone deploy [7], расчет морфометрических показателей рельефа и корреляции растров проводилось в программе SAGA, регрессионный анализ – в Excel. Оформление картографических материалов и схем выполнялось в геоинформационной системе QGIS 3.28.

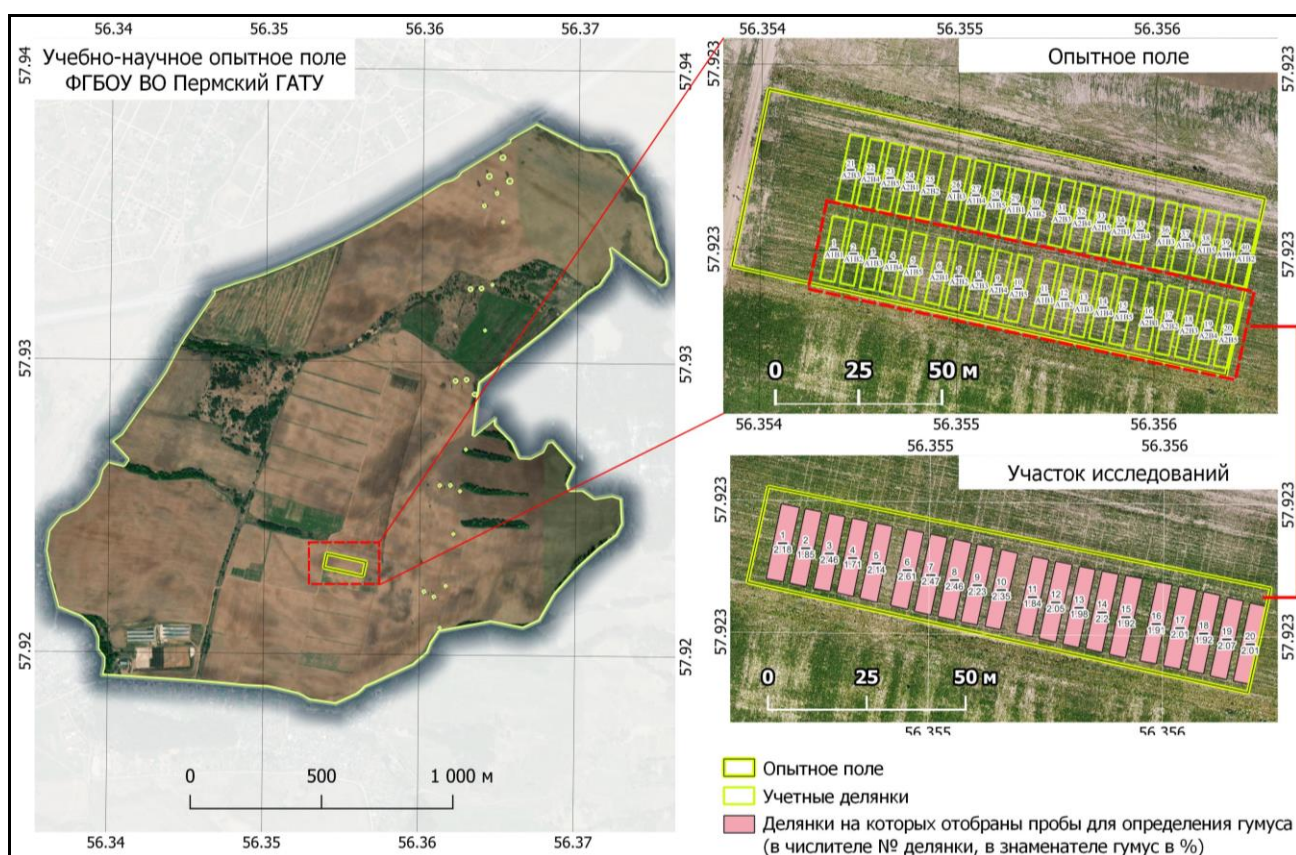


Рис. 1. Местоположение территории исследований

Результаты и их обсуждение

Результаты определения органического вещества почвы были представлены в виде атрибутивной информации векторного слоя делянок (слой является результатом оцифровки ортофотоплана). Для геостатистической обработки этот слой преобразован в центроиды – основу создания растра распределения органического вещества. Под центроидами понимаются точечные объекты высшего уровня, которые характеризуют местоположение центра какого-либо участка земной поверхности (в данном случае делянки). Данный слой должен быть геостатистически исследован для правильного применения метода интерполяции «Обычный Кригинг» [8]. В таблице 1 приведены показатели описательной статистики содержания гумуса. Значения имеют слабовыраженную правостороннюю асимметрию. Средняя и медиана близки между собой, поэтому полученные данные о процентном содержании гумуса соответствуют нормальному распределению, следовательно, для них не требуется трансформация при реализации моделирования по методу «Обычный Кригинг».

Таблица 1. Описательная статистика органического вещества в почве (n =20)

Значения, %				Std. Dev.	Экссесс	Асимметрия
мин.	макс	среднее	медиана			
1,71	2,61	2,11	2,06	0,24	2,19	0,41

Примечания: Std. Dev. – стандартное отклонение.

Для корректной геостатистической интерполяции данных проведена оценка наличия в выборке глобальных трендов (рис. 2). Из рисунка видно, что полученные данные имеют слабовыраженный тренд в направлении запад-восток. Об этом свидетельствует незначительно-изогнутая линия. Отсутствие тренда в направлении север-юг объясняется созданием точечного слоя на основе центроидов, не имеющих разброс в широтном направлении.

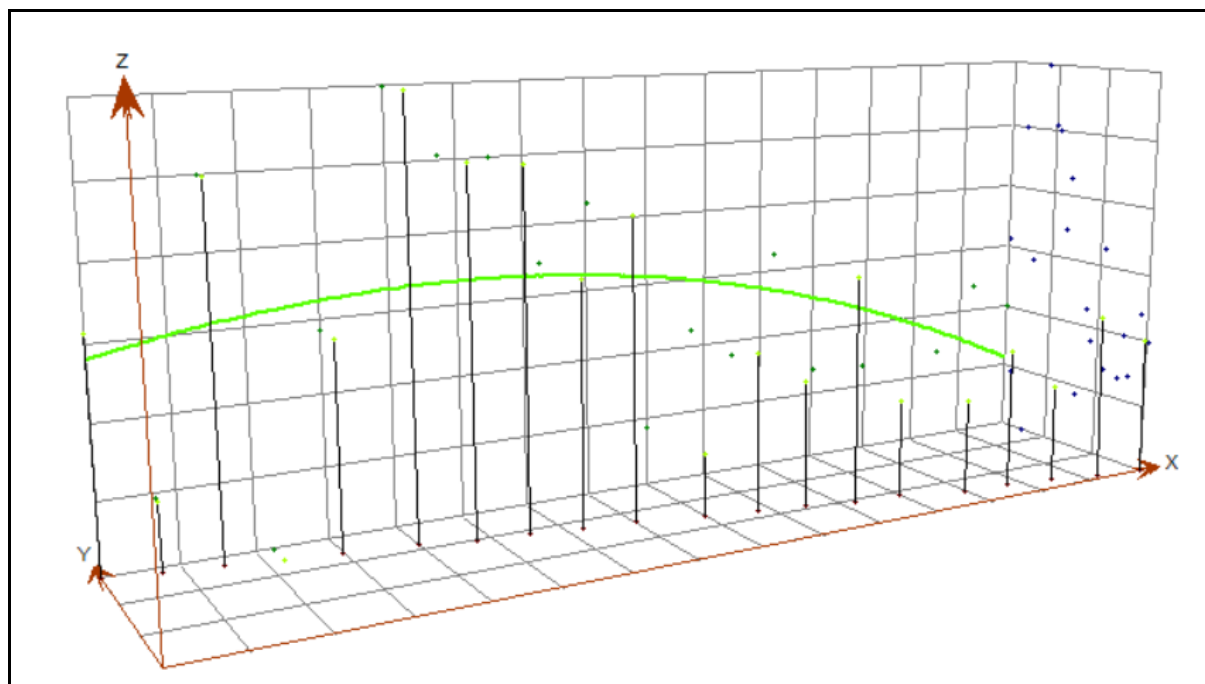


Рис. 2. Тренд пространственного распределения органического вещества почвы

Пространственная взаимосвязь процентного содержания органического вещества от удаленности точек отбора была описана при помощи севивариограммы (рис. 3), отражающей зависимость квадрата разности значений органического вещества (ось y) от расстояния между точками (ось x).

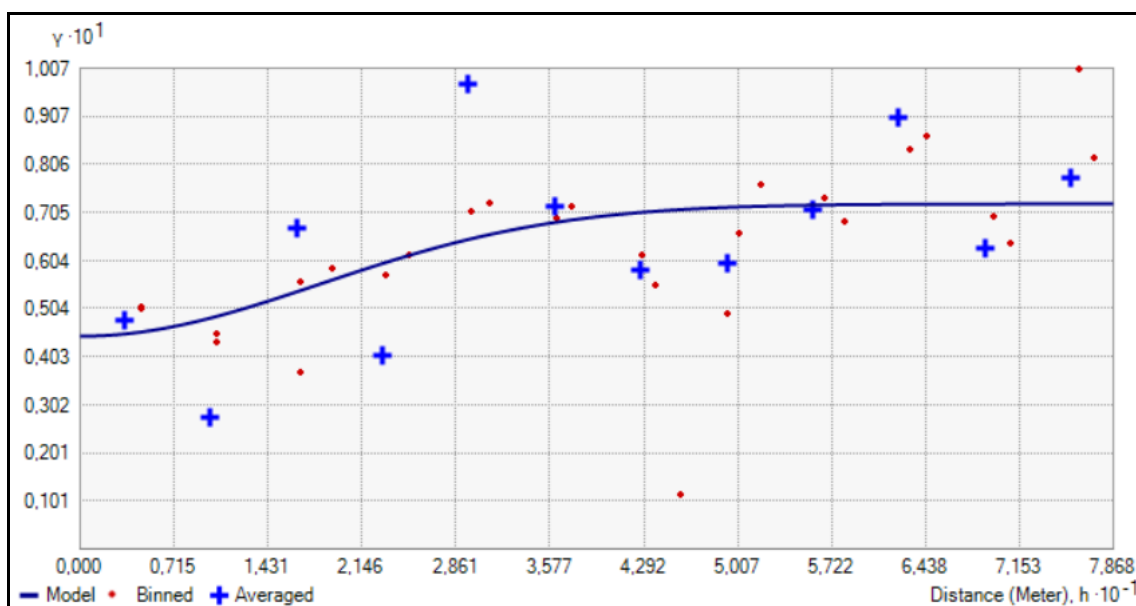


Рис. 3. Семивариограмма органического вещества почвы

Из рисунка видно, что данные имеют пространственную автокорреляцию. Подбор исходных параметров и оптимальной модели семивариограммы позволил наиболее точно смоделировать распределение органического вещества (гумуса) по площади исследований, что представлено на рис. 4.

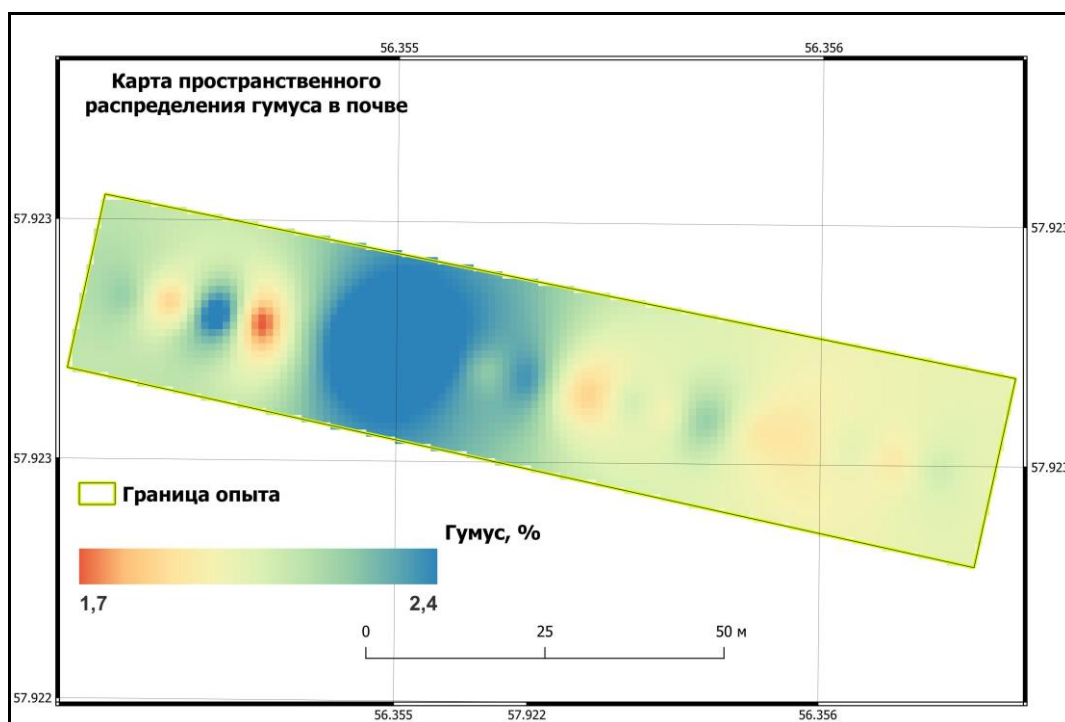


Рис. 4. Пространственная модель распределения органического вещества на участке опыта

При сравнении карты содержания гумуса с БПЛА-снимком, на котором изображена открытая поверхность почв, визуальная схожесть спектральной отражательной способности почвы с процентным содержанием органического вещества не наблюдается. Однако при этом заметна связь с высотными отметками цифровой модели рельефа. Результат наложения изолиний содержания гумуса на ортофотоплан и цифровую модель высот представлен на рис. 5.

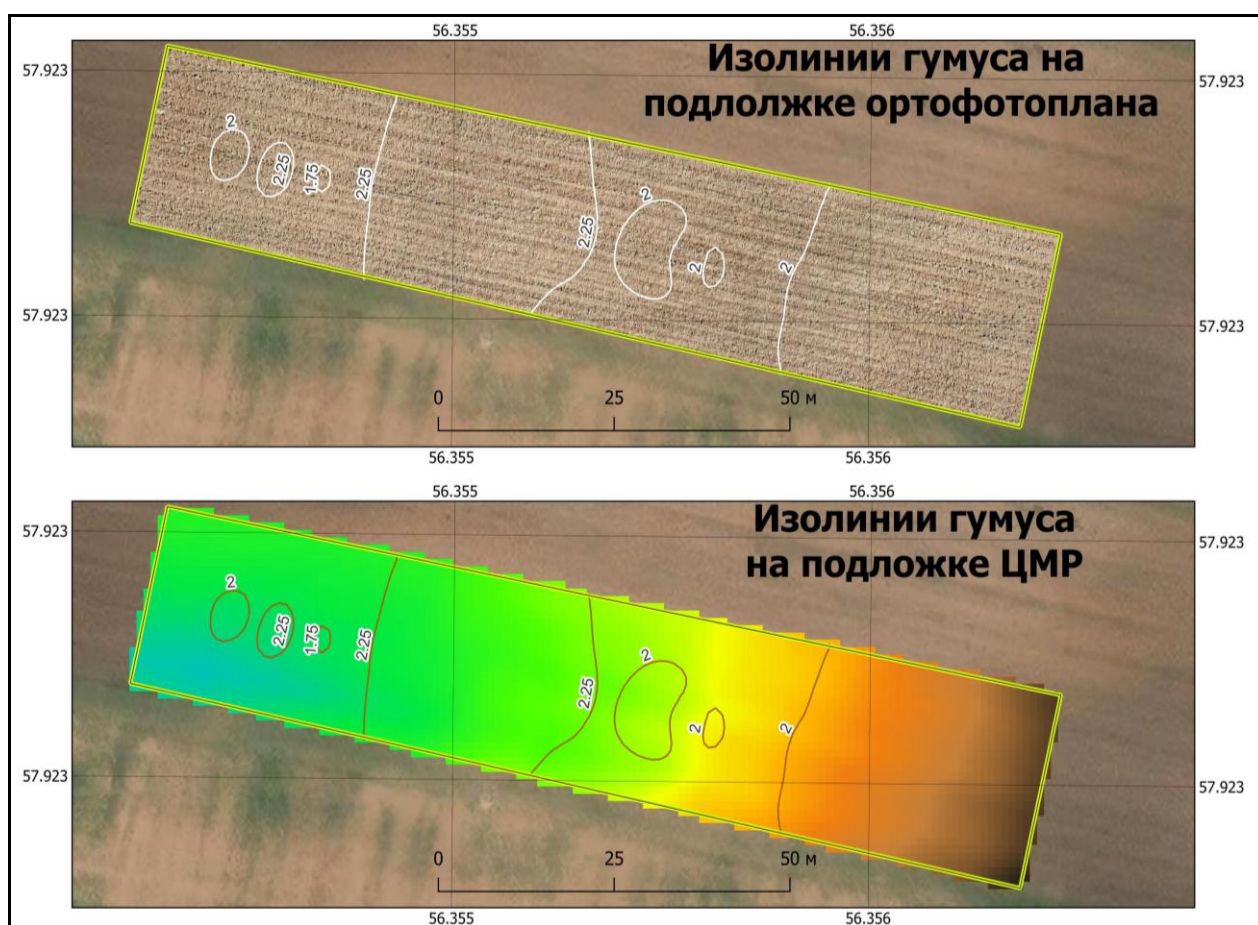


Рис. 5. Результат наложения изолиний гумуса на БПЛА-данные

Из рисунка видно, что в пространственном моделировании гумуса следует использовать подход, основанный на морфометрических показателях рельефа. В результате цифрового моделирования рельефа методом фотограмметрической обработки изображения с БПЛА [7] был создан растр высот. На его основе при помощи инструмента программы SAGA «Basic Terrain Analysis» были рассчитаны морфометрические показатели рельефа, часть из которых представлена на рис. 6.

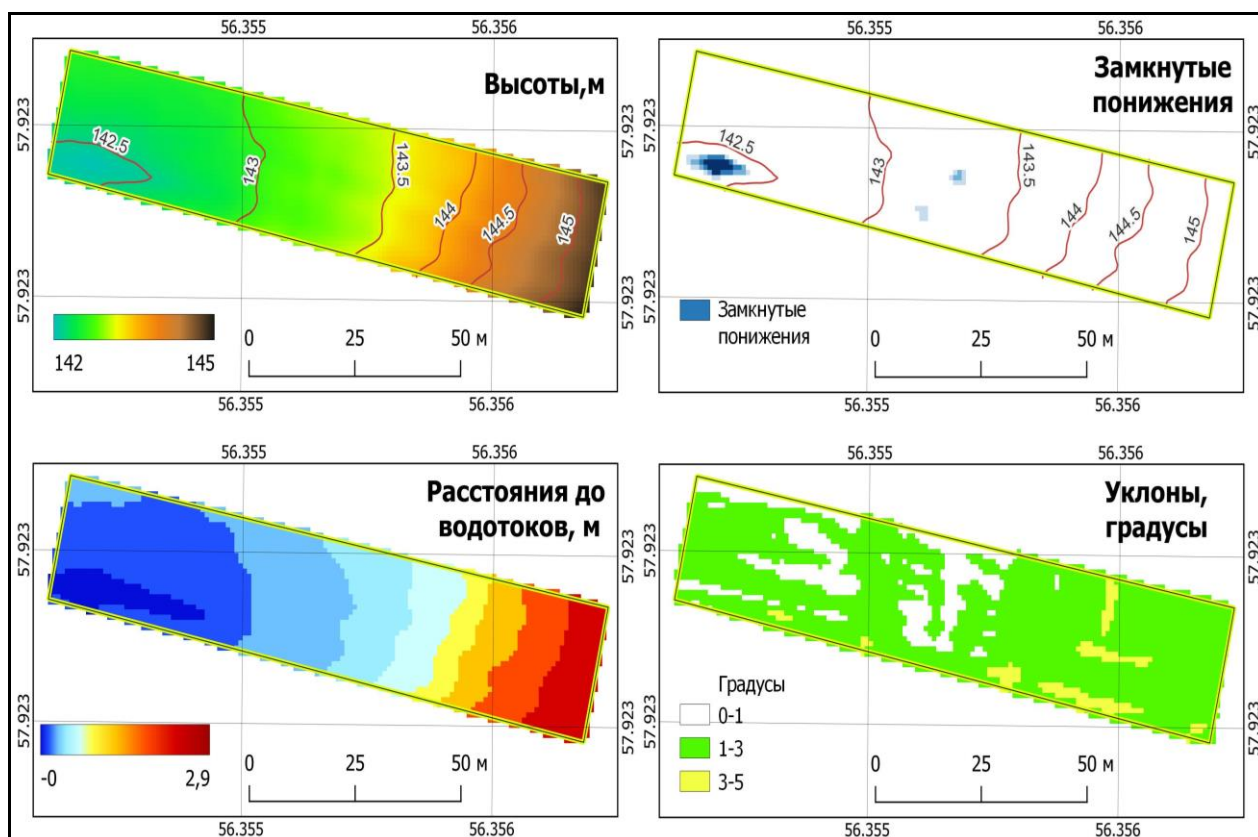


Рис. 6. Морфометрические показатели рельефа по данным БПЛА

Для анализа взаимосвязи пространственного изменения содержания гумуса по рельефу вычислены коэффициенты корреляции растров инструментом Scatterplot программы SAGA. Графики отражают обратную зависимость гумуса от морфометрических показателей (рис. 7). Полученные коэффициенты корреляции приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона содержания органического вещества с морфометрическими показателями рельефа

ELEV (высота, м)	Closed Depressions (замкнутые понижения)	Channel network Distance (расстояние до водотоков)	Slope (уклон)
- 0,50	- 0,60	- 0,54	- 0,40

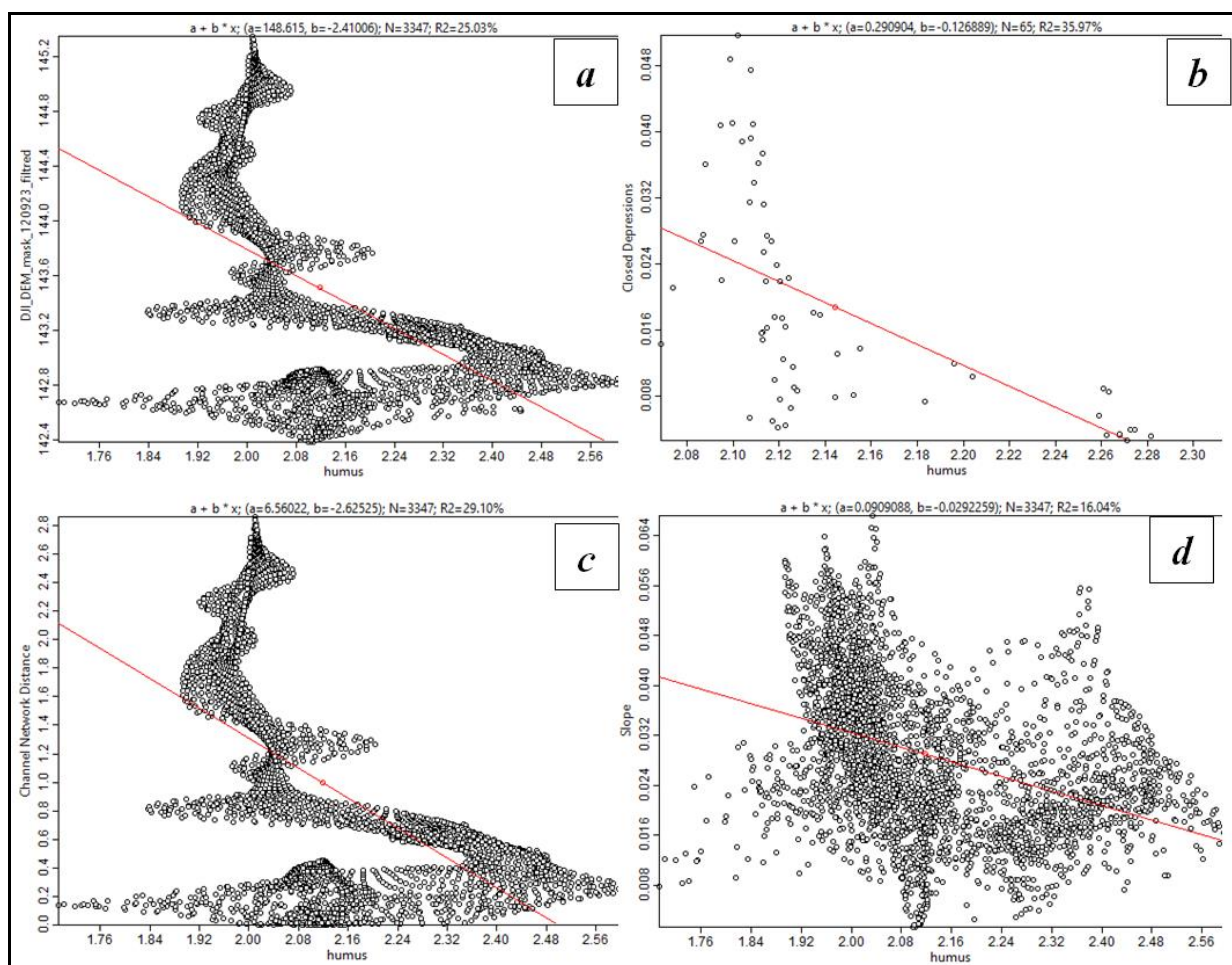


Рис. 7. Графики корреляции растров содержания гумуса с морфометрическими показателями рельефа

Примечание: а – высоты; б – замкнутые понижения; с - расстояние до водотоков; д – уклоны.

Из таблицы видно, что замкнутые понижения, высота и расстояние до водотоков оказывают влияние на пространственное распределение органического вещества – была установлена средняя обратная корреляционная зависимость. Чуть меньше корреляция установлена между содержанием органического вещества и крутизной склонов ($r = -0,4$). Таким образом, наибольшая зависимость наблюдается от замкнутых понижений и расстояния до водотоков. Но поскольку замкнутые понижения имеют ограниченную выборку (около 3% от всех пикселей), то вместо них, для регрессионной модели была использована высота. В результате регрессионного анализа коэффициент R^2 оказался равен 0,44, величина стандартной ошибки составила 0,12. Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$\text{Гумус, \%} = -261,17 - 1,938 * \text{Channel Network Distance} + 1,848 * \text{ELEV} \quad (1)$$

На основе данного уравнения при помощи калькулятора растров QGIS получена пространственная модель распределения гумуса. Она представлена на рис. 8 А.

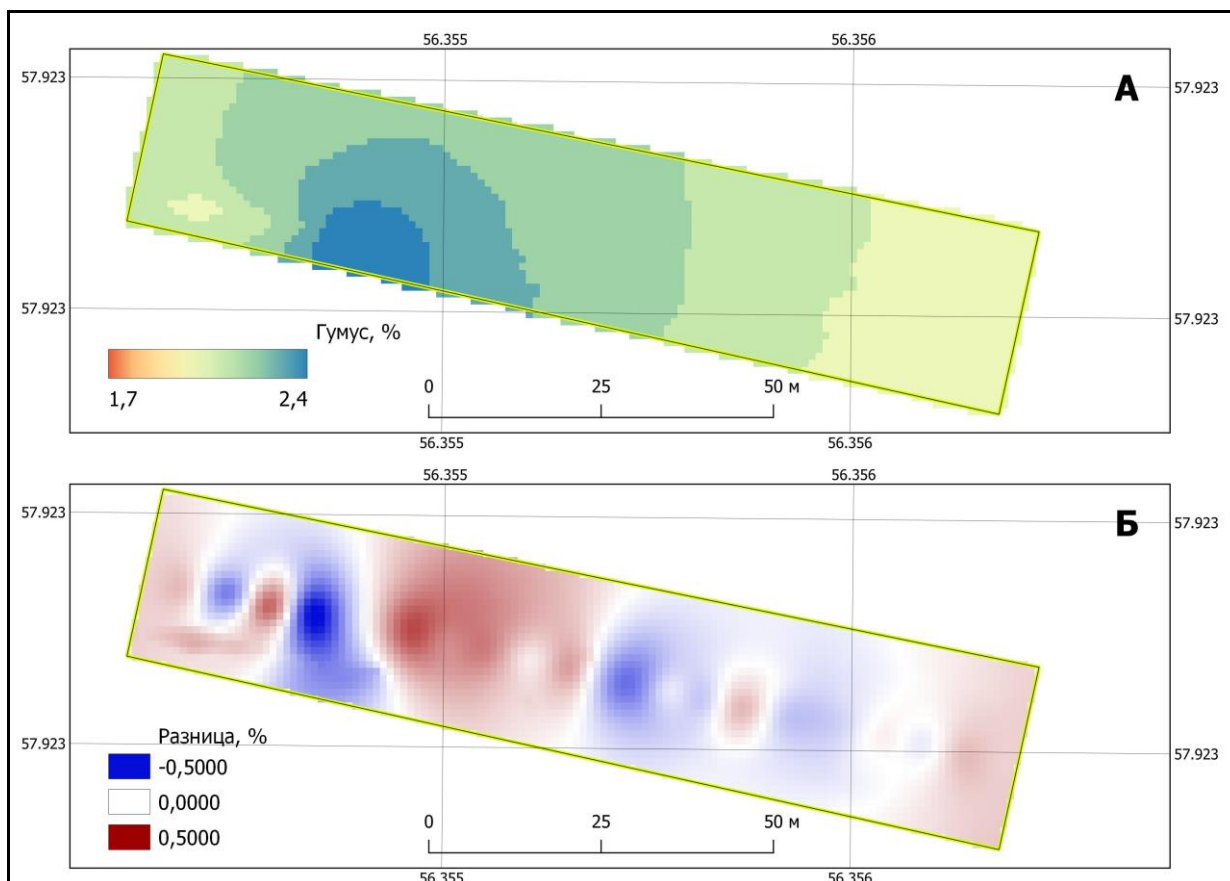


Рис. 8. Пространственное отображение результатов моделирования органического вещества

Примечание: А – регрессионная пространственная модель; Б – разница геостатистической и регрессионной модели.

Выводы

Очень высокое пространственное разрешение снимков с беспилотного летательного аппарата позволяет создавать цифровые пространственные данные небольших по площади опытных полей. Эти данные можно соотнести с результатами анализа свойств почвенного покрова опытных участков и создавать модели показателей почвенного плодородия. В результате проведенных исследований установлена средняя связь содержания гумуса с высотными отметками и расстоянием до водотоков на основе БПЛА-данных. При регрессионном моделировании происходит сужение диапазона

значений примерно на 0,5% от минимума и максимума по сравнению с геостатистической моделью распределения органического вещества.

Финансовая поддержка

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 1023051000003–9–4.1.1).

Список использованных источников:

1. Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Методы геоморфометрии и цифрового картографирования для оценки пространственной изменчивости свойств агросерой почвы склона // Почвоведение. – 2017. – № 1. – С. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010087>.
2. Кузнецова А.С., Ерунова М.Г., Якубайлик О.Э. Технологии создания банка геопространственных данных опытно-производственных хозяйств ФИЦ КНЦ СО РАН // Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири. IX Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения: материалы международной научно-производственной конференции с международным участием (Красноярск, 20–22 июля 2022 г.). Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2023. – С. 239–244.
3. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2015. – № 80. – С. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-80-95-105>.
4. Интерполяция ближайшей окрестности/ справка ArcGIS for Desktop [Электрон. ресурс]. – URL: <http://desktop.arcgis.com>
5. Модели кригинга / справка ArcGIS for Desktop [Электрон. ресурс]. – URL: <http://desktop.arcgis.com>
6. 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. – № 4. – С. 146–152.
7. Zimmerman T., Jansen K., Miller J. Analysis of UAS flight altitude and ground control point parameters on DEM accuracy along a complex, developed coastline // Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 14. – С. 2305.
8. Геостатистика: теория и практика / В.В. Демьянов, Е.А. Савельева; под ред. Р.В. Арутюняна; ИБРАЭ РАН. М.: Наука, 2010. – 327 с.

Чащин А.Н., Акманаева Ю.А. Пространственное моделирование органического вещества почвы
опытных делянок на основе данных с БПЛА

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

Цитирование:

Чащин А.Н., Акманаева Ю.А. Пространственное моделирование органического
вещества почвы опытных делянок на основе данных с БПЛА [Электрон. ресурс] //
АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 6. – Режим
доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st_624.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202136624>.