

**ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЯМАЛЬСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ-ДЛЯ ВОЗРОЖДЕНИЯ
ПОЛЯРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ЯМАЛЕ**

Сулейманов Азамат Русланович
кан. биол. наук, младший научный сотрудник кафедры Прикладной
экологии, Санкт-Петербургского государственного университета,
г. Санкт-Петербург
filpip@yandex.ru

Низамутдинов Тимур Ильгизович
аспирант кафедры Прикладной экологии, Санкт-Петербургского
государственного университета,
г. Санкт-Петербург
timur_nizamat@mail.ru

Научный руководитель: Абакумов Евгений Васильевич
док. биол. наук, профессор, заведующий кафедры Прикладной экологии,
Санкт-Петербургского государственного университета,
г. Санкт-Петербург
e_abakimov@mail.ru

Моргун Евгения Николаевна
кан. биол. наук, ведущий научный сотрудник
ГКУ ЯНАО «Научный центр Изучения Арктики»,
г. Салехард
morgun148@gmail.com

Аннотация: *Изучение почвенных свойств агроценозов и их картографирование необходимо для успешного производства сельскохозяйственных и волокнистых культур. В данной работе представлены результаты исследования содержания почвенного органического углерода и его цифровое картографирование на участке Ямальской опытной станции (г. Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия). Для моделирования пространственного распределения применялись методы геостатистики: кригинг и IDW. Результаты моделирования показали, что визуализированные ареалы концентрации углерода схожи, но метод IDW отобразил изменчивость содержания углерода на более коротком масштабе.*

Ключевые слова: *почва, углерод, карты, моделирование, север*

Введение

Поле Ямальской опытной станции (общей площадью 5,6 га) является одним из наиболее староосвоенных научно обоснованных агроценозов за Северным полярным кругом Российской Федерации, а также 90-летней мониторинговой площадкой, на которой возможно проведение наблюдений за многолетней динамикой свойств окультуренных почв. Данный агроценоз обрабатывается с 1932 года, и, согласно идее Н.И. Вавилова, вошел в советский мегапроект «Система Полярного земледелия СССР», наряду с полями Нарьян-Марской, Игарской и др. опытных станций, опережая период их освоения на 5 лет и уступая по давности возделывания только полю опытной станции Кольского полуострова (на 7 лет).

Развитие сельского хозяйства в северных полярных областях имеет потенциал в результате глобального потепления [2]. Для экспансии сельского хозяйства в северные регионы необходимы современные почвенные исследования и крупномасштабные карты. Изучение почвенных свойств и их

картографирование необходимо для успешного производства сельскохозяйственных и технических культур. Почвы сельскохозяйственных территорий подвержены дополнительному антропогенному воздействию, что также влияет на скорость трансформации и изменчивость почвенных свойств. Крупномасштабные цифровые почвенные карты необходимы для рационального управления земельными ресурсами, а также для внедрения систем точного земледелия. Поэтому сохранение почв агроценозов и изучение пространственного распределения их свойств являются одними из важнейших условий устойчивого управления земельными ресурсами.

Методы геостатистики, такие как вариограммный подход, являются оптимальными для определения пространственной неоднородности и картографирования свойств почв. Этот подход анализирует пространственно-зависимые данные и позволяет выполнять дальнейшие прогнозы (интерполяции). Тем не менее, иногда этот метод также имеет ограничения по моделированию свойств для сельскохозяйственных участков. Например, долгосрочное внесение удобрений, эрозия, орошение, севообороты и практика выращивания различных культур могут повлиять на пространственную зависимость почвенных свойств. Пространственная вариация также может коррелировать с плотностью, количеством и оптимальностью выбора местоположения точек.

Целью исследования является проведение химического анализа залежных почв пахотного участка, обработка результатов исследований, пространственное моделирование свойств и подготовка цифровых карт. Задачами данного исследования были:

- (1) Оценить содержание почвенного органического углерода пахотного участка Ямальской опытной станции (г. Салехард (Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия).

(2) Оценить пространственную изменчивость содержания почвенного органического углерода с помощью геостатистических методов.

(3) Создать цифровые карты содержания почвенного органического углерода.

Объекты и методы

Отбор почвенных образцов был проведен в августе 2021 г. с глубины 0-10 см. Образцы в количестве 40 штук были собраны в сухую погоду. Точные координаты были определены с использованием устройства GPS с точностью ± 1 м.

Химические анализы были проведены в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами [1]. Почвенные образцы были высушены и просеяны через сито. Содержание почвенного органического углерода определяли по методу Тюрина с окончанием по Орлову и Гринделю (аналог Walkley-Black).

Ординарный кригинг использовался определения и пространственного распределения почвенных свойств на участке исследования. Метод кригинга заключается в предсказании значений на неисследованных участках с использованием средних значений, определённых на исследованных участках. Формула одинарного кригинга представлена ниже:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)$$

где $Z(x_0)$ – это прогнозируемое значение в месте, где не проводился проб отбор (x_0); $Z(x_i)$ – это наблюдаемое значение в месте x_i ; и w_i – вес.

Для верификации пространственного распределения, основанного на подходе кригинга, были созданы карты с использованием метода обратного взвешивания расстояний (IDW). Метод IDW является одним из наиболее

широко используемых инструментов для интерполяции различных величин, включая почвенные свойства. Формула IDW представлена ниже:

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}$$

где $Z(x_0)$ – это прогнозируемое значение в месте, где не проводился проб отбор (x_0); x_i это i значение данных; h_{ij} – это расстояние между интерполированными значениями; и β – это весовой коэффициент в опорной точке $Z(x_0)$.

Пространственное моделирование было выполнено в среде программирования R с использованием библиотек gstat, caret и других. Оформление итоговых цифровых картографических материалов было выполнено в QGIS.

Результаты

В таблице 1 представлены результаты химического анализа для определения содержания почвенного органического углерода. Почвы на глубине 0-10 см имели низкое и среднее содержание органического углерода.

Таблица 1 – Статистическая характеристика содержания почвенного органического углерода.

Параметр	Почвенный органический углерод, %
Min	0.89
Max	5.12
Среднее	3.06
Стандартное отклонение	0.99

Коэффициент вариации (%)	32.5
Медиана	2.8

Оценка пространственной вариации органического углерода с помощью метода кригинга представлена на рисунке 1. Наибольшие концентрации наблюдались в центральной части участка, тогда как наименьшие располагались рядом.

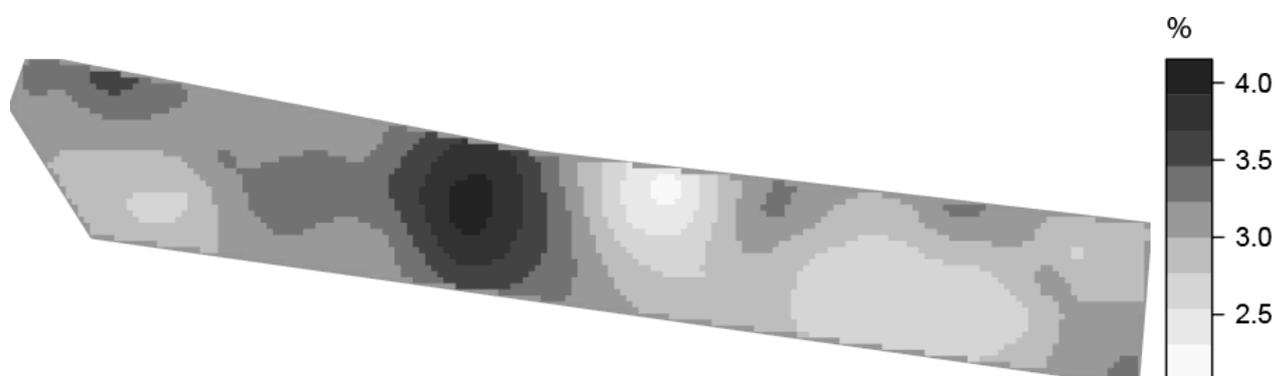


Рисунок 1 – Карта содержания почвенного органического углерода, выполненная с помощью метода кригинга.

На рисунке 2 представлена карта, выполненная методом IDW. В целом, участки с максимальными и минимальными значениями содержания почвенного органического углерода схожа с картой, выполненной методом кригинга. Однако, метод IDW позволил выявить изменчивость углерода на более коротком расстоянии, что может быть полезно при формировании стратегий реализации техник точного земледелия.

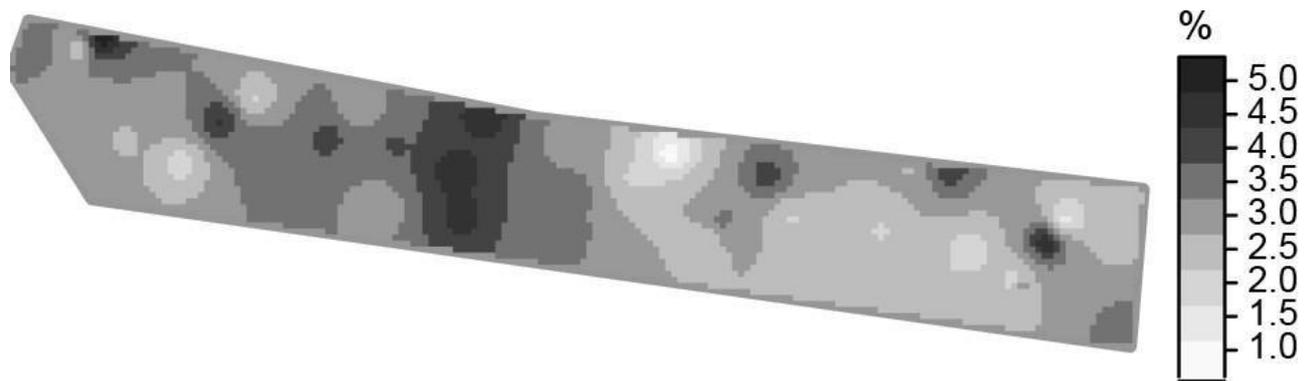


Рисунок 2 – Карта содержания почвенного органического углерода выполненная с помощью метода IDW.

Заключение

Расширение полярного земледелия в результате более мягкого климата требует более глубокого изучения почв агроценозов. В настоящем исследовании проведена оценка содержания почвенного органического углерода и составлены цифровые карты для поля Ямальской опытной станции, которое возделывается в рамках системы полярного земледелия на протяжении 90 лет. Было исследовано пространственное распределение углерода с помощью метода ординарного кригинга и метода IDW в верхнем слое 0-10 см. При сравнении карт, выполненных вышеуказанными методами, очаги похожи. Однако наблюдаются разные количественные показатели на некоторых участках, что может быть важным критерием для выбора картографического метода при реализации подходов точного земледелия.

Финансирование:

Исследование проводилось при поддержке НЦМУ «Агротехнологии будущего» договор №075-15-2022-322 от 22.04.2022.

Список источников и научной литературы

1. Аринушкина Е.В. 1970. *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Изд. МГУ. 488 с.

2. Катцов В.М. 2017. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 106 с.