

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАТТЕРНЫ ВДОЛЬ ТРАССОВЫХ ГРУНТОВ

А.Ю. Владова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

Финансовый университет при Правительстве РФ

Россия, 117997, Москва, Ленинградский пр., 49

E-mail: avladova@ipu.ru

Ключевые слова: идентификация и классификация геологических образований.

Аннотация: Исследованы геотехнические характеристики грунтов вдоль проектируемой трассы магистрального нефтепровода. Проведено пространственное сопоставление вдольтрассовых грунтов по типам, глубине залегания и мощности слоев. Для визуализации особенностей грунтовых слоев синтезированы новые признаки, для которых применен вероятностный и корреляционный анализ. Таким образом, исследование представляет интерес при проектировании трассы протяженных линейных объектов и экологического мониторинга.

1. Введение

Для проектирования трассы трубопроводов выполняют инженерно-геологические работы, включающие множественные геотехнические бурения для получения образцов грунта. Полученные данные содержат глубины, мощности и описание слоев грунта вдоль трассы трубопровода. Эти образцы помогают в оценке несущей способности грунта, его физических и химических свойств.

Геотехническое бурение проводится по равномерной сетке через несколько километров вдоль трассы нефтепровода, а также в тех областях, где предполагается изменение геологических условий или существуют важные инженерно-геологические точки, такие как речные пересечения, гористые местности, участки с подозрением на опасные геологические процессы или вблизи техногенных объектов. Поскольку мощность слоев грунта случайна, то итоговая сетка параметров грунта неравномерна и по длине, и по глубине трассы нефтепровода. Профиль тысячекилометровой трассы приходится восстанавливать по ограниченному количеству профилей геотехнических скважин.

2. Анализ литературы и постановка цели

Обзор литературы, проведенный автором в [1] относящейся к проектированию сооружений на мерзлых грунтах, показал, что за последние пять лет количество публикаций по этой тематике значительно увеличилось. Глобальное потепление и местное антропогенное влияние снижают несущую способность многолетнемерзлых грунтов, вызывая изменения пространственного положения трубопроводов и увеличивая количество аварий [2]. Прогнозирование геокриологических эффектов возможно с помощью компьютерного моделирования тепловых и механических взаимодействий трубопровода с грунтовой средой [3]. В [[4, 5] предлагается подход к статистическому анализу температур грунтов, при котором имеющийся 4D-массив

преобразуется в 2D-вид без потери информации; добавляются новые признаки, подчеркивающие сезонность и состояние мерзлоты. В [6] обогащение геологического описания грунтов на первом этапе было достигнуто за счет создания семейства параметров, характеризующих наличие воды в двух состояниях и взаимодействие заглубленного нефтепровода со слоями грунта. На втором этапе были восстановлены пропущенные и ошибочные параметры грунта путем поиска сходных закономерностей вдоль трассы трубопровода с использованием обогащенного геологического описания почвенного профиля. В [7] установлено, что при мониторинге температур грунтов вдоль трасс трубопроводов существует проблема отделения антропогенных тепловых потерь от сезонных колебаний температуры. Чтобы выделить тепловые потери, по исходным данным сгенерированы признаки, определяющие температурные интервалы в соответствии с классификацией вечной мерзлоты. Случайная природа тепловых процессов, происходящих в грунте вокруг магистрального трубопровода, требует использования статистических методов обработки результатов мониторинга изменения температурного поля и последующего применения полученных данных в вероятностных моделях расчета показателей надежности [8]. Наличие многолетних послонных измерений температур грунтов, упорядоченных естественным образом вдоль полосы отведения протяженных линейных объектов, позволяет использовать гармонический анализ для выявления техногенной составляющей спектра [9]. Несмотря на значительный объем собираемых данных, эксплуатирующие организации недостаточно применяют методы машинного обучения для повышения точности и достоверности геологических моделей.

Таким образом, проведенный анализ литературы позволил установить актуальность проблемы получения новой информации при интерпретации данных геотехнических исследований для повышения точности и достоверности геологических моделей. Цель работы сформулирована следующим образом – повышение точности идентификации параметров слоев грунтов (местоположения, характеристик) при проектировании трассы нефтепровода. Для достижения цели поставлены следующие задачи исследования: провести обзор методов идентификации параметров грунтов, выполнить статистический анализ параметров грунтов как многомерных данных; сформировать множества входных и выходных параметров и комбинаций их значений; идентифицировать неизвестные параметры грунтов.

3. Преобразование геотехнических данных

Исходные данные занимают 8.9 мегабайт, распределены по 7 столбцам-признакам: Километр, Пикет, Плюсика, Описание грунта, Код грунта, Глубина, Толщина и содержат 5869 строк, из которых 91 строка имеет пропуски в данных. По совокупности трех признаков Километр, Пикет, Плюсика, характеризующих местонахождение слоя грунта, сформирован новый признак Дистанция. Распределение кодов грунтов несбалансировано (рис. 1): наиболее часто встречаются грунты с кодом, лежащим в четвертой сотне (песок), а реже всего грунты с кодами в первой сотне (лед, вода).

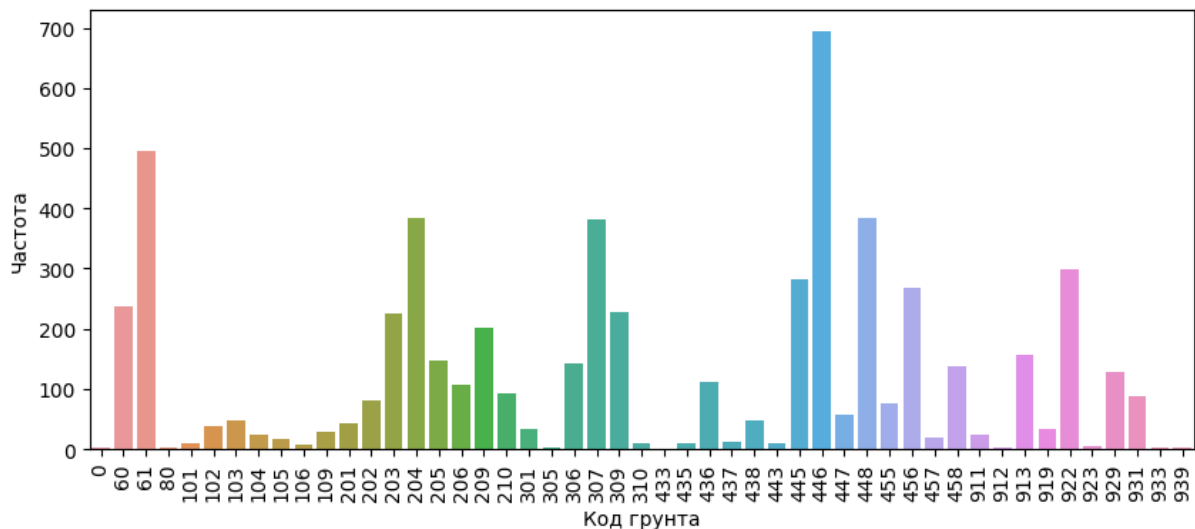


Рис. 1. Несбалансированность слоев грунтов по коду.

Интервальные значения признака Код грунта обобщены в категории нового признака Тип грунта.

```
df['Soil type'] = pd.cut(df['Code of soil'],bins=[0,60,80, 100, 200, 300,
400, 900, 1000], labels=['Почва', 'Мох', 'Вода', 'Глина', 'Суглинок',
'Супесь', 'Песок', 'Торф'])
```

Распределение типов грунтов вдоль и вглубь трассы трубопровода представлено на рисунке 2 и получено с помощью следующего фрагмента кода.

```
g=sns.displot(df, x="Distance, m", y="Depth, m", hue='Soil type',
palette='inferno')
g._legend.set_title('Тип грунта')
plt.gca().invert_yaxis()
plt.xlabel('Трасса, км')
plt.ylabel('Глубина, м')
```

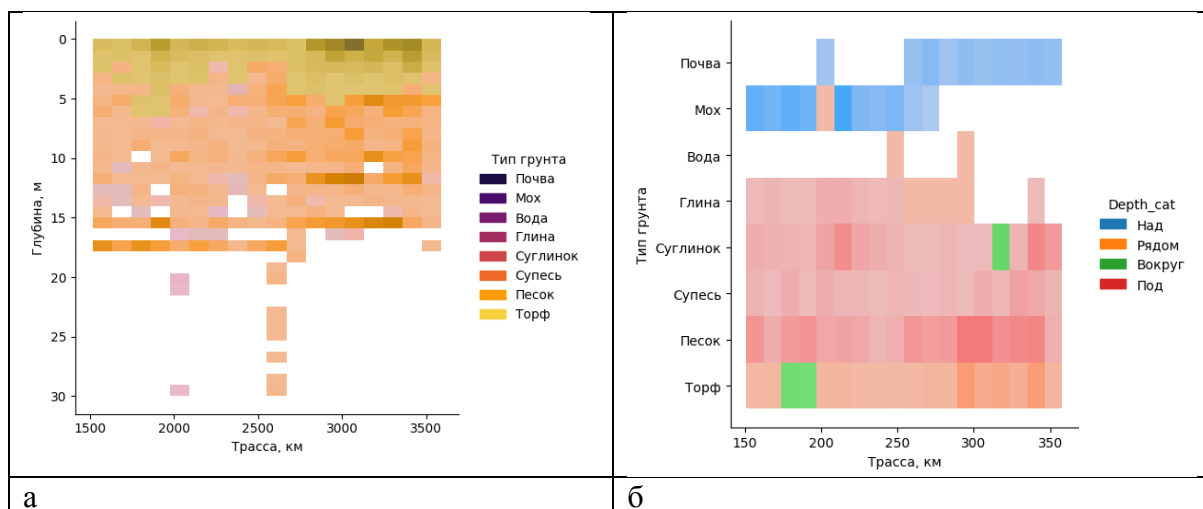


Рис. 2. Распределение: а) типов грунтов вдоль и вглубь трассы, б) глубин расположения слоев по типу грунтов.

Значения признака Глубина слоя грунта обобщены в 4 категории: Над, Рядом, Вокруг, Под с точки зрения положения магистрального нефтепровода (рис. 2б) с помощью фрагмента кода:

```
df['Depth_cat'] = pd.cut(df['Depth, m'], bins=[0, 1.3, 4.7, 10, 30],
labels=['Above', 'Near', 'Around', 'Under'])
sns.displot(df, x="km", y="Soil type", hue='Depth_cat')
plt.xlabel('Трасса, км')
plt.ylabel('Тип грунта')
```

Выявлено, что вмещающими трубопровод слоями наиболее часто являются суглинки и торф. Они же занимают третье и второе место по мощности слоев после песка (рис. 3).

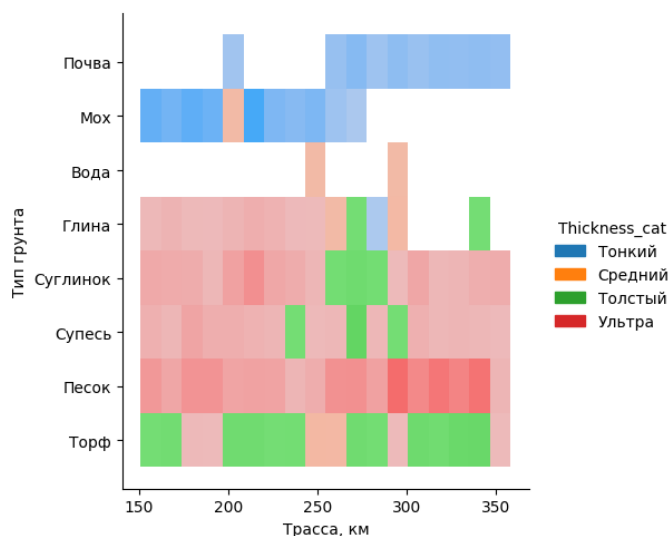


Рис. 3. Распределение мощности слоев по типу грунтов

4. Заключение

Таким образом, анализ данных показал:

- наличие выбросов у глубин и мощностей слоев грунта;
- смена слоев грунта у второй половины участка трассы происходит на большей глубине, чем у первого;
- слои грунта мощностью до 3 метров распределены вдоль трассы равномерно;
- наиболее взаимосвязанными признаками являются Глубина и Мощность слоя грунта (коэффициент корреляции равен 0.705). Предположение о связи глубины или мощности слоя с типом грунта или местонахождением вдоль трассы не подтвердилось, поскольку оба этих признака показывают близкие к нулю коэффициенты линейной и ранговой корреляции.
- коэффициенты автокорреляции признаков Глубина и Мощность слоя грунта равны 0.597 и 0.501 соответственно.

Список литературы

1. Vladova A.Y. Regional Specifics of Digitalization the Oil Midstream Soil Monitoring // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. Cham: Springer, 2021. Vol. 44. P. 247-255.
2. Владова А.Ю. Ретроспективный анализ температурного режима грунтов в информационно-измерительной системе // Безопасность труда в промышленности. 2016. Vol. 12. P. 46-53.

3. Филимонов А.А., Строкова Л.А. Назначение начальных параметров и граничных условий при моделировании теплового состояния подземных трубопроводов в зоне распространения островных многолетнемерзлых грунтов // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. National Research Tomsk Polytechnic University, 2023. Vol. 334, No. 12. P. 109-124.
4. Владова А.Ю. Формирование пространства признаков и авторегрессионных моделей для прогноза отступлений железнодорожного полотна // Проблемы управления . 2023. P. 54-64.
5. Vladova A.Yu., Vladov Yu.R. Detection of oil pipelines' heat loss via machine learning methods // IFAC-PapersOnLine. 2022. Vol. 55, No. 9. P. 117-121.
6. Vladova A.Yu., Vladov Y.R. Identifying potentially dangerous areas of frost heaving and surfacing of the buried oil pipeline // Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience. 2023. Vol. 2, No. 4. P. 100054.
7. Vladova A.Yu. Remote Geotechnical Monitoring of a Buried Oil Pipeline // Mathematics. 2022. Vol. 10, No. 11. P. 1813.
8. Golofast S.L., Vladova A.Y. Influence of temperature field route of the oil-trunk pipeline on linear section strength reliability // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2019. Vol. 11.
9. Владова А.Ю. Гармонический анализ температур мерзлого грунта полосы отведения линейного объекта // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 7. P. 25-30.