09.04.02 Информационные системы и технологии

ИТМО

Оцифровка геологических ретроспективных данных

Студент:
Шарушкина Елизавета Андреевна, гр. J4151

Научный руководитель:
Калюжная Анна Владимировна, к.т.н., ст. науч. сотр.

Научный консультант:
Сёмин Даниил Георгиевич, руководитель направления

Постановка проблемы

ПАО «Газпром нефть» при выполнении Региональных Исследовательских работ получает для оценки и анализа данных широкий перечь данных об исследуемых и потенциально интересных месторождениях. Часть данных поступает на бумажных носителях: это ретро-карты, содержащие информацию о глубине залегания целевых (карта кровли) геологических слоев.

Карта глубины залегания – это представление земной коры с цветовым кодированием глубины залегания

Данные на бумажных носителях:

- недоступны для импорта в ГИС-системы (JPG/PDF-сканы)
- требуют ручной оцифровки (несколько часов на одну карту)
- теряют информацию при субъективном переводе в цифровой формат

Цель и задачи

Цель исследования: Разработать подход оцифровки геологических данных для преобразования неструктурированных данных в машиночитаемый формат.

Задачи:

1. Определить особенности исходных геологических данных и предварительно их обработать;
2. Разработать алгоритм выделения цветовой палитры и распознавания глубинных отметок;
3. Сопоставить цвету глубину залегания и реализовать назначение глубин залегания для каждого пикселя;
4. Провести верификацию и оценку метрик качества оцифрованных данных.

Обзор аналогичных решений/исследований

Подходы к оцифровке карт, описанные в научной литературе:

Инструмент / Решение	Архитектура	Предобработка изображений	Распознавание текста	Сегментация цветов	Особенности и ограничения
Ручная оцифровка (Legacy)	-	Визуальная	Ручное	Ручная	Высокая точность, но низкая скорость
USGS Automated Digitization (DIGMAPPER)	U-Net / Transformers	CLAHE, нормализация	Ограниченное	Семантическая	Ориентирован на топографию (линии, полигоны), требует огромных размеченных датасетов (DARPA-USGS)
ArcGIS	CNN (базовая)	Стандартная нормализация	Ручное	Полуавтоматическая трассировка	Коммерческое решение, дорогие лицензии, требует опыта ГИС-специалиста, так как требуется ручное распознавание текста
Deep Learning Segmentation	CNN (U-Net)	Аугментация	Нет	Pixel-wise	Отлично выделяет границы (лес/вода), но плохо работает с легендами карт и привязкой "цвет-глубина" без OCR
Scan2CAD	Object-based vectorization (не нейросеть)	Бинаризация, истончение линий, очистка от "мусора"	Есть (распознаёт ориентацию и шрифты)	Ограниченная (опирается только на линии)	Платное ПО. Отлично векторизует чертежи (CAD), но плохо справляется с заливками геологических карт. Требует много ручной настройки параметров даже для извлечения изолиний
Решение от ITMO Student	**K-Means + EasyOCR + Tesseract**	**CLAHE, удаление шума, морфология**	**EasyOCR + Tesseract**	**Кластеризация**	**Специализирован под геокарты, работает на связке «цвет - глубина», работает на малых данных**

Методы и инструменты исследования

Методы:

кластеризация (обучение без учителя): KMeans

распознавание глубинных отметок: Deep Learning OCR

методы компьютерного зрения

Инструменты:

Python как основной язык программирования

OpenCV для предобработки изображений

EasyOCR, Tesseract для распознавания текста

Потенциал использования полученных результатов в индустрии

Области применения:

- нефтегазовая отрасль
- горнодобывающая промышленность
- государственные геологические архивы

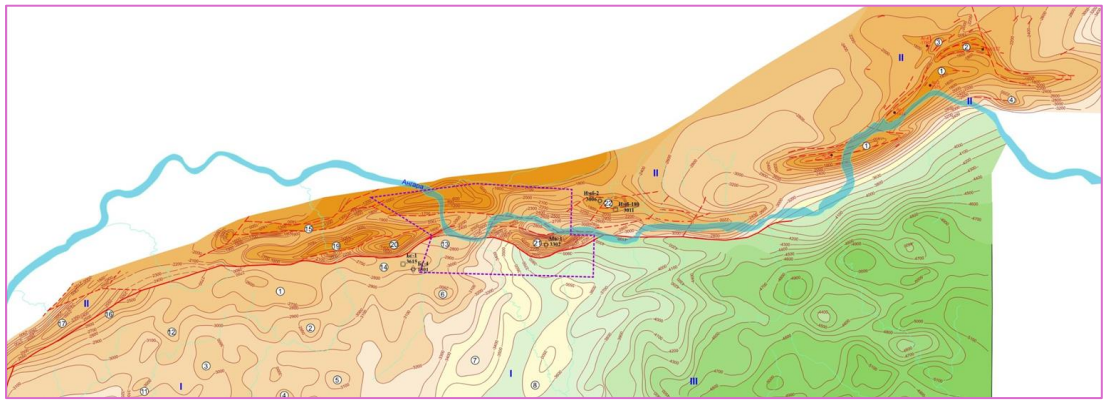
Потенциальный эффект:

- ускорение оцифровки в 25 раз (вместо 4 часов вручную – 10 минут автоматически);
- исключение человеческого фактора и субъективных ошибок преобразований неструктурированных данных;
- универсальность выходного формата, так как выходные данные имеют стандартный машиночитаемый вид, что позволяет как мгновенный импорт в профильное ПО, так и простую автоматизированную предобработку для специализированных задач.

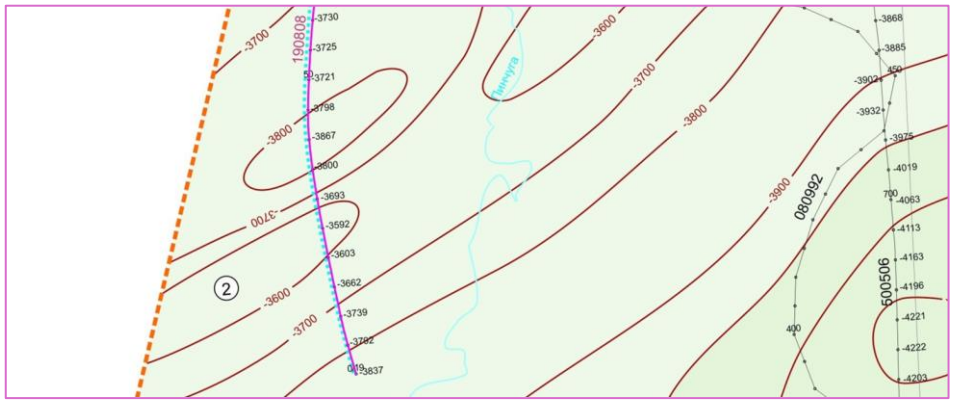
Ссылка на описание индустриального проекта в свободной форме: https://docs.google.com/document/d/1xfOM1gsMGSa47dl0w4afdT6etkezXRF1Fndxm_H6RLg/edit?usp=sharing

Ход решения

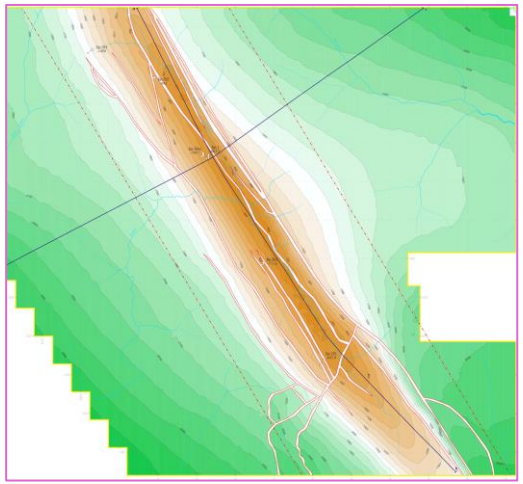
Оценка качества исходных бумажных материалов



Пример 1. Фрагмент исходной карты №1



Пример 2. Фрагмент исходной карты №2



Пример 3. Фрагмент исходной карты №3

Критические проблемы исходных материалов:

- Наложение гидросети на геологические контуры
- Высокая плотность изолиний в зонах крутых склонов
- Нерегулярное распределение глубинных отметок и вариативность их ориентации
- Искажения изображений, вызванные процессом сканирования

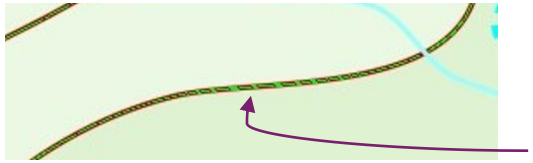
Ход решения

В ходе работы были рассмотрены два подхода. Идея **первого подхода**:

1. Выделение изолиний по цвету
2. Поиск контуров каждой линии
3. Определение конца и начала изолинии
4. Чтение глубины залегания на карте
5. Соотнесение прочитанных глубин и изолиний
6. Экспорт результата в .txt

Ограничения подхода:

- Изолинии на одной карте могут иметь разные цвета из-за других объектов
- Прерывистый морфологический каркас объектов
- Не все изолинии замкнуты, они могут прерываться тектоническими нарушениями
- Сложности привязки надписей глубин залегания к изолиниям по критерию минимального расстояния

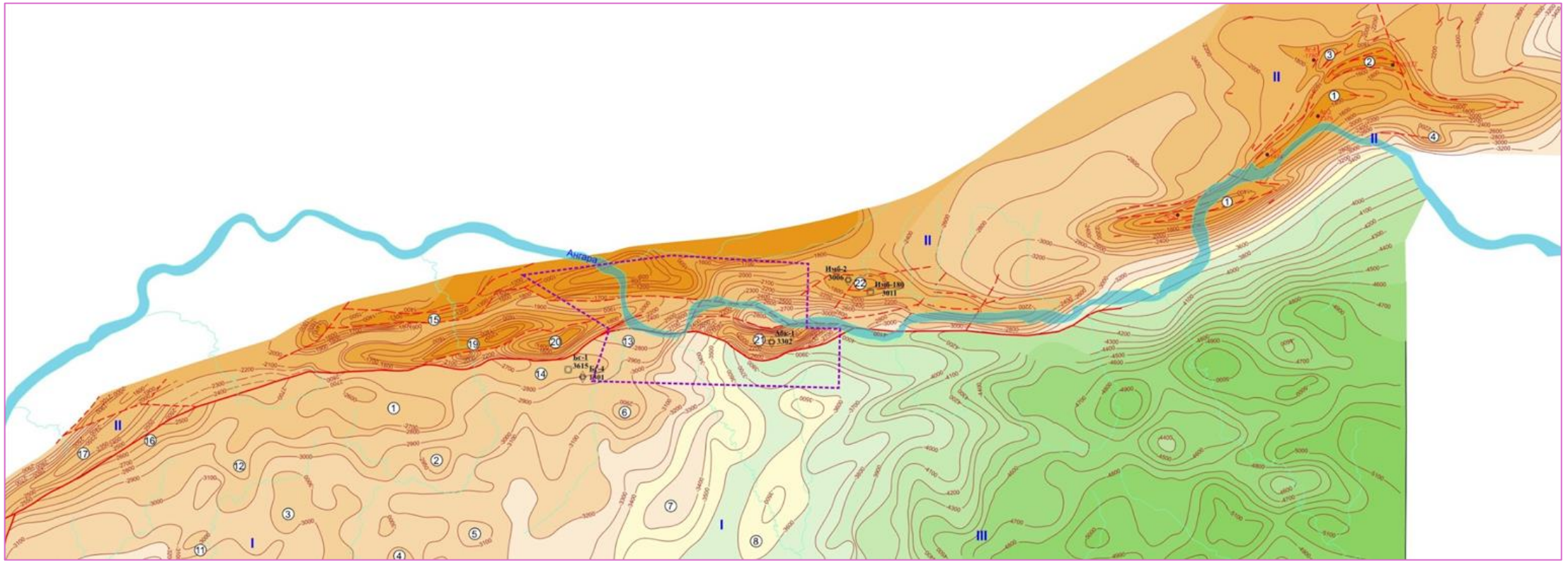


прерывистый каркас изолинии (зеленые пиксели)

Ход решения

Второй подход основан на кластеризации цветового пространства карты и сопоставлении геозон с отметками глубины залегания. Процесс обработки карты состоит из 4 шагов.

Шаг 1 Загрузка карты, анализ её особенностей



Исходная карта

Ход решения

Шаг 2

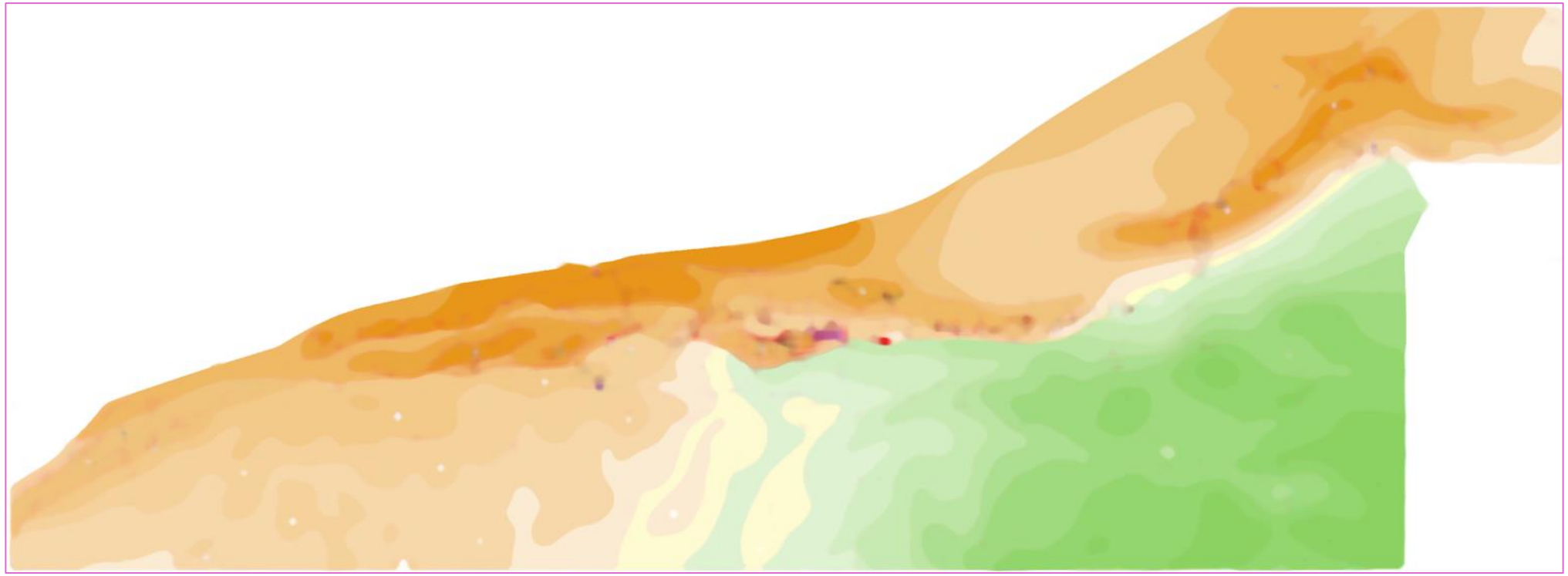
Очистка карты от шума, выделение всех RGB кластеров, группировка близких цветов

Задача	Функция / итог
Удаление тонких линий	cv2.medianBlur()
Сглаживание текстур с сохранением границ	cv2.bilateralFilter()
Линеаризация массива изображения	reshape()
Стохастическая выборка пикселей для ускорения расчетов	np.random.choice()
Кластеризация цветового пространства (поиск центроидов)	cv2.kmeans()
Сохранение эталонной палитры геозон	 ...

Ход решения

Шаг 2

Очистка карты от шума, выделение всех RGB кластеров, группировка близких цветов



Очищенная и сглаженная карта (цвета центроидов K-means)

Ход решения

Шаг 3

Распознавание числовых значений и их сопоставление с локальным цветовым контекстом

1. Генерируется несколько вариантов одной и той же карты:

1. CLAHE (контраст 1.0×, масштаб 1×)	Минимальный контраст
2. CLAHE (контраст 2.0×, масштаб 1×)	Повышение контраста (без масштабирования)
3. CLAHE (контраст 2.5×, масштаб 1×)	
4. CLAHE (контраст 3.0×, масштаб 1×)	
5. CLAHE (контраст 4.0×, масштаб 1×)	
6. CLAHE + масштабирование (контраст 2.5×, масштаб 1.5×)	Масштабирование + контраст
7. CLAHE + масштабирование (контраст 2.5×, масштаб 2.0×)	

2. Применяем **EasyOCR** и **Tesseract** к каждому варианту обработанного изображения

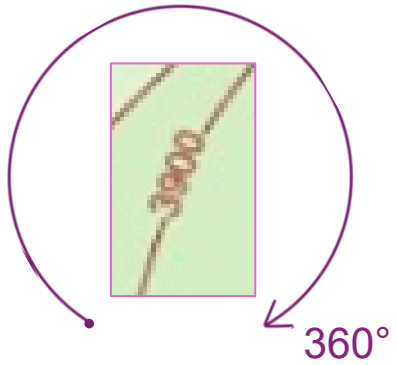
Ход решения

Шаг 3

Распознавание числовых значений и их сопоставление с локальным цветовым контекстом

3 Для каждого детектированного текстового фрагмента:

- → вырезаем патч вокруг найденной цифры
- → вращаем патч полный оборот (0°–360°, шаг 20°)
- → распознаем текст при каждом угле поворота, выбираем по голосованию



4 Зная, что диапазон глубин от -500 до -8000 метров:

- → отклоняем все 2-значные числа
- → для 3-значных устанавливаем порог уверенности 0,3
- → для 4-значных устанавливаем порог уверенности 0,15

5 Так как один и тот же текст может быть найден несколько раз (разные движки, разные варианты предобработки), группируем близкие детекции (50×50 px) и оставляем одну (с максимальной уверенностью)

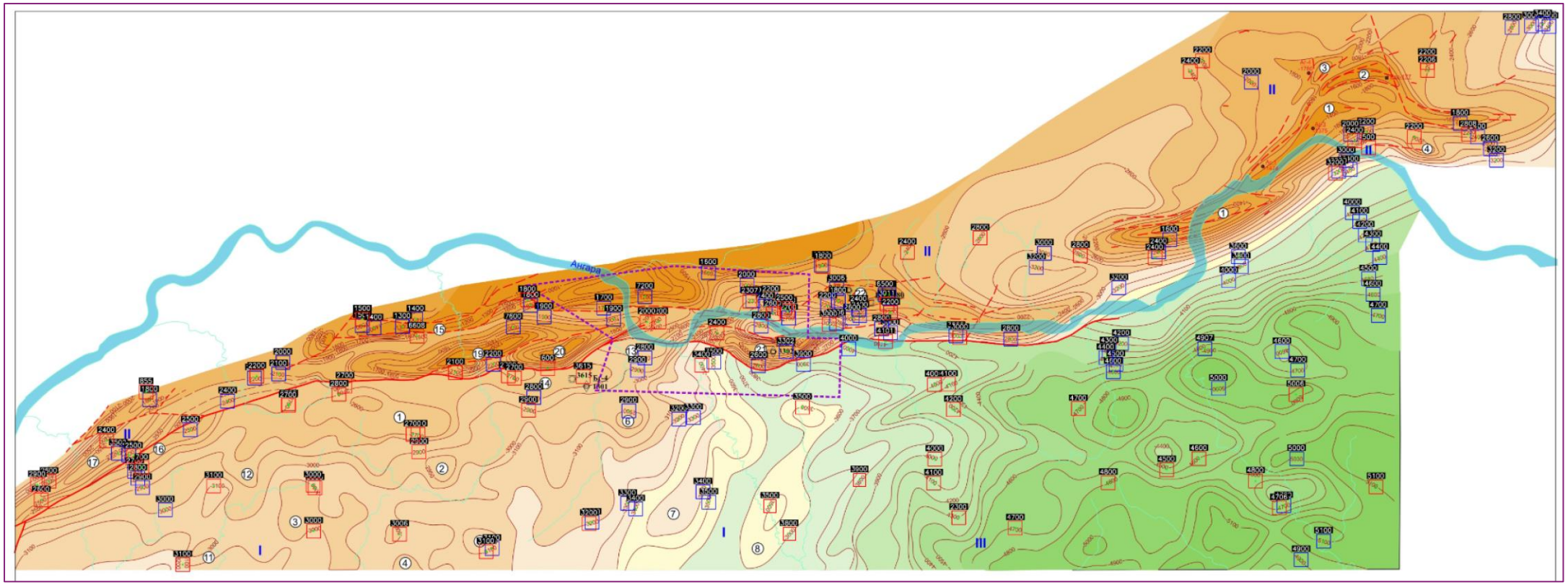
Ход решения

Шаг 3

Распознавание числовых значений и их сопоставление с локальным цветовым контекстом

6

Определение цветового контекста вокруг каждой распознанной цифры с ранее очищенной и сглаженной карты. Сохранение словаря: {цвет - глубина}



Распознанные глубины залегания

Ход решения

Для оценки качества распознавания введены следующие метрики:

- $\text{accuracy}_{\text{распознавания}} = \dfrac{\text{количество верно распознанных глубин}}{\text{общее количество детектированных глубин}}$

- $\text{accuracy}_{\text{общая}} = \dfrac{\text{количество верно распознанных глубин}}{\text{общее количество глубин}}$

Оценка качества распознавания отметок глубины залегания по картам

Карта	Всего на карте	Детектированные глубины	Верно распознанные глубины	Accuracy распознавания	Accuracy общая
Карта 1	223	163	132	0,81	0,59
Карта 2	85	68	51	0,75	0,60
Карта 3	141	86	72	0,84	0,61

→ Алгоритм достаточно точно распознаёт найденные глубины залегания, но корректно восстанавливает лишь около половины всех глубин на карте, что требует доработки детекции путем оптимизации пороговых значений и расширения обучающей выборки.

Ход решения

Шаг 4

На входе:

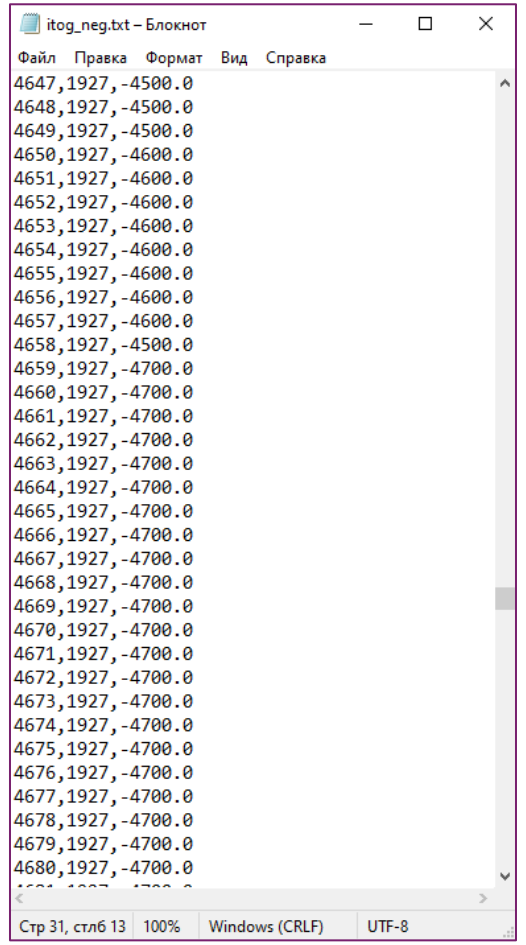
- очищенная и сглаженная карта в цветах геозон
- маска фона
- словарь соответствия {RGB-цвет – глубина}

Процесс получения конечного результата:

1. Для каждого пикселя очищенной карты определяем цвет

2. По словарю соответствия {RGB-цвет – глубина} подставляем глубину залегания

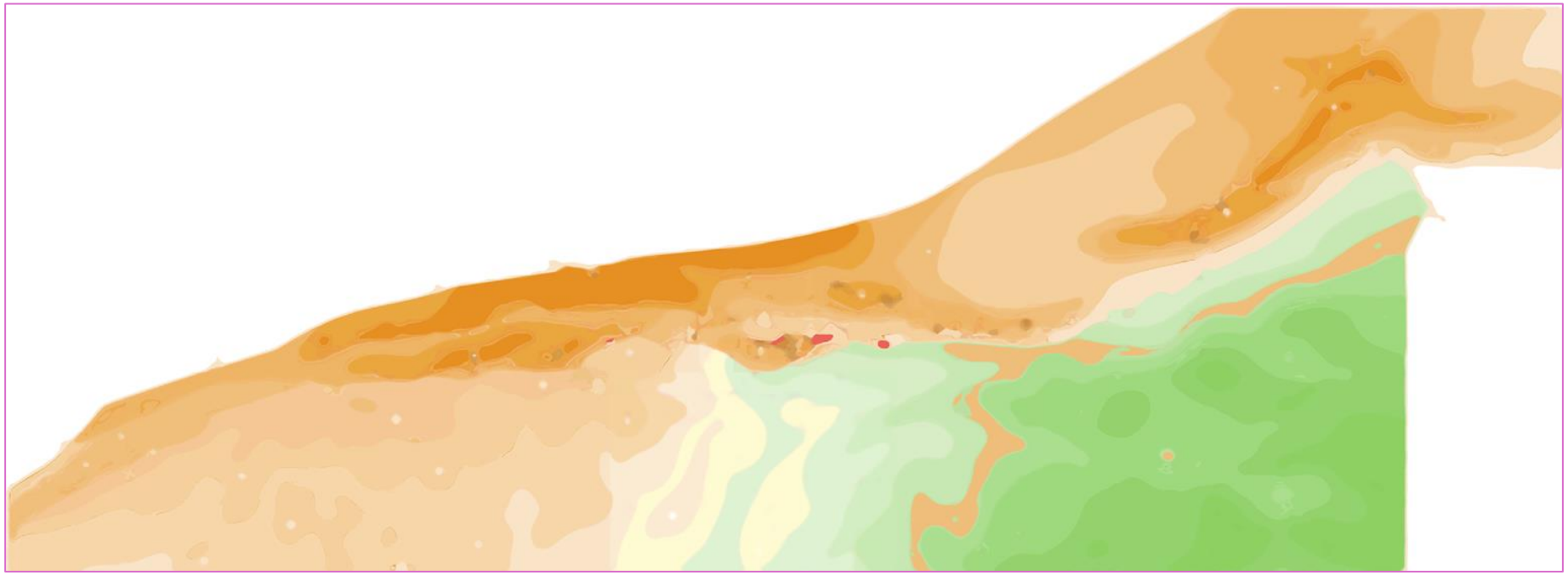
3. Записываем точки в текстовый файл в формате (x y z)



Ход решения

Проверка корректности оцифрованных данных:

→ по итоговому файлу восстанавливается растровая карта: для каждой строки (x, y, z) по значению глубины залегания z выбирается цвет из словаря {глубина → RGB} и закрашивается соответствующий пиксель



Карта, построенная по выходному файлу алгоритма

Совпадение структуры геозон и границ подтверждает корректность оцифровки.

Основные результаты

- Доля верно распознанных глубин залегания среди детектированных составляет в среднем 0,80
- Среднее значение доли верно распознанных глубин от общего числа глубин залегания на карте составляет 0,60
- Восстановленные геозоны и границы похожи по структуре и контурам на исходные карты
- Файлы в формате (x, y, z) подходят для импорта в ГИС или CAD-системы
- Получен положительный отзыв партнера (ПАО «Газпромнефть»)

→ Ссылка на открытый репозиторий с кодом реализации поставленной научной задачи и проведения экспериментов: https://github.com/granatic12/Digitization-of-geological-maps

→ Ссылка на рецензию от представителя индустрии с оценкой уровня решения поставленной задачи и потенциала использования полученных студентом результатов: https://drive.google.com/file/d/15t-f0b1wp79dOSvL9BOPvzfShPuy15k5/view?usp=sharing

Заключение

Разработан прототип решения для оцифровки геологических карт, объединяющий компьютерное зрение и машинное обучение без учителя. Такой подход позволяет обрабатывать карты в 25 раз быстрее ручной работы и получать данные, подходящие для интеграции с ГИС-системами в стандартном формате (x, y, z).

Цель работы достигнута. Неструктурированный растр успешно преобразован в структурированный массив координат и глубин залегания, алгоритм решения протестирован на реальной карте, а верификация подтвердила корректность алгоритма.

Перспективы развития включают:

- масштабирование решения на большие массивы карт и автоматическую пакетную обработку архивов геоданных;
- совершенствование алгоритмов обнаружения числовых подписей глубин залегания на карте;
- добавление интерфейса для эксперта-геолога, позволяющего интерактивно корректировать цвета зон и глубины залегания перед экспортом.

Спасибо
за внимание!

ITMO more than a UNIVERSITY

Постановка проблемы

ПАО «Газпром нефть» при выполнении Региональных Исследовательских работ получает для оценки и анализа данных широкий перечь данных об исследуемых и потенциально интересных месторождениях. Часть данных поступает на бумажных носителях: это ретро-карты, содержащие информацию о глубине залегания целевых (карта кровли) геологических слоев.

Данные на бумажных носителях:

- недоступны для импорта в ГИС-системы (JPG/PDF-сканы)
- требуют ручной оцифровки (несколько часов на одну карту)
- теряют информацию при субъективном переводе в цифровой формат

Карта глубины залегания – это представление земной коры с цветовым кодированием глубины залегания.

Проблема	Решение
Отсканированная геологическая карта представлена в виде растрового изображения, поэтому представляет собой лишь набор цветных пикселей. ГИС-системы не могут автоматически восстановить, на какой глубине залегания находятся объекты на карте.	Автоматическая оцифровка, которая выделяет однородные цветовые зоны, связывает их с глубиной и преобразует исходное изображение в структурированный набор (X,Y,Z).