

Предварительные результаты улучшения данных аэромагниторазведки с помощью генеративных сетей

Старовойтов А.В.

Казанский Федеральный Университет, 420111, Казань, ул. Кремлевская 4/5

Введение

Аэромагнитные исследования для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых применяются в нашей стране с 1940-х годов [1]. Данный метод позволяет оперативно выполнять работы на труднодоступных территориях [2]. Появление беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и усовершенствованных легких магнитометров способствовало снижению стоимости работ, повышению их мобильности и автоматизации [3–5].

Однако сохраняется проблема размытия данных с увеличением расстояния от источника аномалии, что затрудняет точную локализацию и оконтуривание объектов. Модели сверхвысокого разрешения (ESRGAN, SwinIR) предлагают методы увеличения пространственного разрешения сеток при одновременном устранении шумов и артефактов. Научные исследования подтверждают, что такие модели способны значительно повысить детализацию и контрастность признаков при сохранении физической интерпретируемости результатов [6]. Однако существующие работы основаны на обучении моделей на искусственно зашумленных данных магниторазведки.

Ключевая идея настоящего исследования заключается в том, что увеличение расстояния приводит к естественной нормализации значений от различных источников посредством суперпозиции [7]. Данное свойство позволяет осуществлять декомпозицию влияния множества источников и дифференцировать вклад каждого из них с помощью искусственных нейронных сетей.

Создание датасета

Формирование датасета для обучения искусственных нейронных сетей представляет собой сложную и трудоемкую процедуру, как с точки зрения организации процесса, так и с точки зрения контроля качества. Как правило, данный этап занимает не менее половины времени всей разработки и большую часть трудозатрат.

В рамках нашего исследования требовалось разработать автоматизированные механизмы, позволяющие генерировать входные и выходные данные для ИНС не только с увеличением разрешения, но и с аналитическим пересчетом поля в зависимости от высоты расположения сенсоров. Это подразумевает необходимость включения в механизм генерации рельефа для создания синтетической модели.

Алгоритм генерации рельефа включает случайное выделение участка реального рельефа (150×150 метров) по данным SRTM с разрешением 1 угловая секунда и его усложнение с помощью шума Перлина (Рисунок 1). Это обусловлено тем, что пространственное разрешение SRTM на территории Республики Татарстан составляет приблизительно 30 метров по широте и 15-17 метров по долготе. Область случайного выбора ограничена координатами 54.83332:54.98790 по широте и 49.01250:49.29589 по долготу. Данные пределы включают территорию левобережья р. Волги к югу от р. Камы, характеризующуюся незначительными перепадами высот и слабой расчлененностью.

В пределах выделенного участка случайным образом с нормальным распределением генерировались координаты источников магнитных аномалий. Для каждого источника определялись следующие характеристики: размеры по трем осям, векторы намагниченности и интенсивности, а также глубина залегания. Для всех характеристик были установлены граничные значения случайного выбора. Так, глубина залегания источников не превышает 3 метров, а максимальная амплитуда составляет не более 300 нТл.

На следующем этапе осуществлялось построение модели с помощью SimPEG. Генерировалась сетка призм с минимальным размером ячейки 1 метр (Рисунок 2), в которой на основе ранее заданных характеристик определялись топография и параметры призм в области источника. На основе полученной модели решались прямые геофизические задачи для различных высот и шагов сетки. В качестве высотных срезов были выбраны уровни 0, 5, 10 и 15 метров, а шаг сетки варьировался от 1 до 8 метров, что соответствует трехкратному увеличению разрешения исходных сеток. Для каждой комбинации параметров формировались как чистые данные, так и данные с добавлением шума в 5 нТл с целью регуляризации процесса обучения ИНС и приближения к реальным полевым условиям (Рисунок 3).

Обучение ИНС и результаты

Пилотное обучение искусственной нейронной сети проводилось преимущественно для проверки возможности использования данного подхода для приведения данных аэромагниторазведки, полученных с помощью БПЛА, к данным наземной съемки. Для этого использовалась стандартная архитектура PyTorch для задач сверхразрешения с модифицированными входными и выходными параметрами и размерами тензоров. Предобученные веса в процессе обучения не использовались. На текущий момент проведено тестовое обучение на 300 эпохах с использованием метрик MSE и MAE для оценки и обратного распространения ошибки. Сгенерированные данные в процессе обучения использовались одновременно, как и выходные наборы, так и выходные в зависимости от выбранных выходных высот и степени увеличения разрешения. При этом для выходных тензоров всегда использовались данные без привнесенного шума для возможности фильтрации наземной съемки.

Предварительные результаты обучения демонстрируют перспективность данного подхода (Рисунок 4). Метод позволяет приблизить данные воздушной съемки к значениям, характерным для наземных измерений, а также повысить разрешение данных, что способствует улучшению локализации объектов при решении обратных задач.

1. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л.: Недра, 1979. С. 351.
2. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка). Л.: Недра, 1981. 263 с.
3. Паршин А.В. и др. Первые результаты методических работ по применению беспилотных аэрогеофизических технологий на стадии поисков месторождений урана // Разведка и охрана недр. 2017. С. 59–64.
4. Паршин А.В. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при выполнении геологоразведочных работ на рудных объектах Байкальской горной области // Вопросы естествознания. 2015. Т. 2, № 6. С. 97–101.
5. Насыртдинов Б.М., Старовойтов А.В., Хамиев М.М. Результаты аэромагниторазведки с использованием беспилотного воздушного судна на Ромашкинском месторождении углеводородов // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 46, № 4. С. 364–373.
6. Smith L. и др. Magnetic grid resolution enhancement using machine learning: A case study from the Eastern Goldfields Superterrane // Ore Geol. Rev. Elsevier, 2022. Т. 150. С. 105119.
7. Блох Ю. И. Теоретические основы комплексной магниторазведки. М., 2012. 160 с.

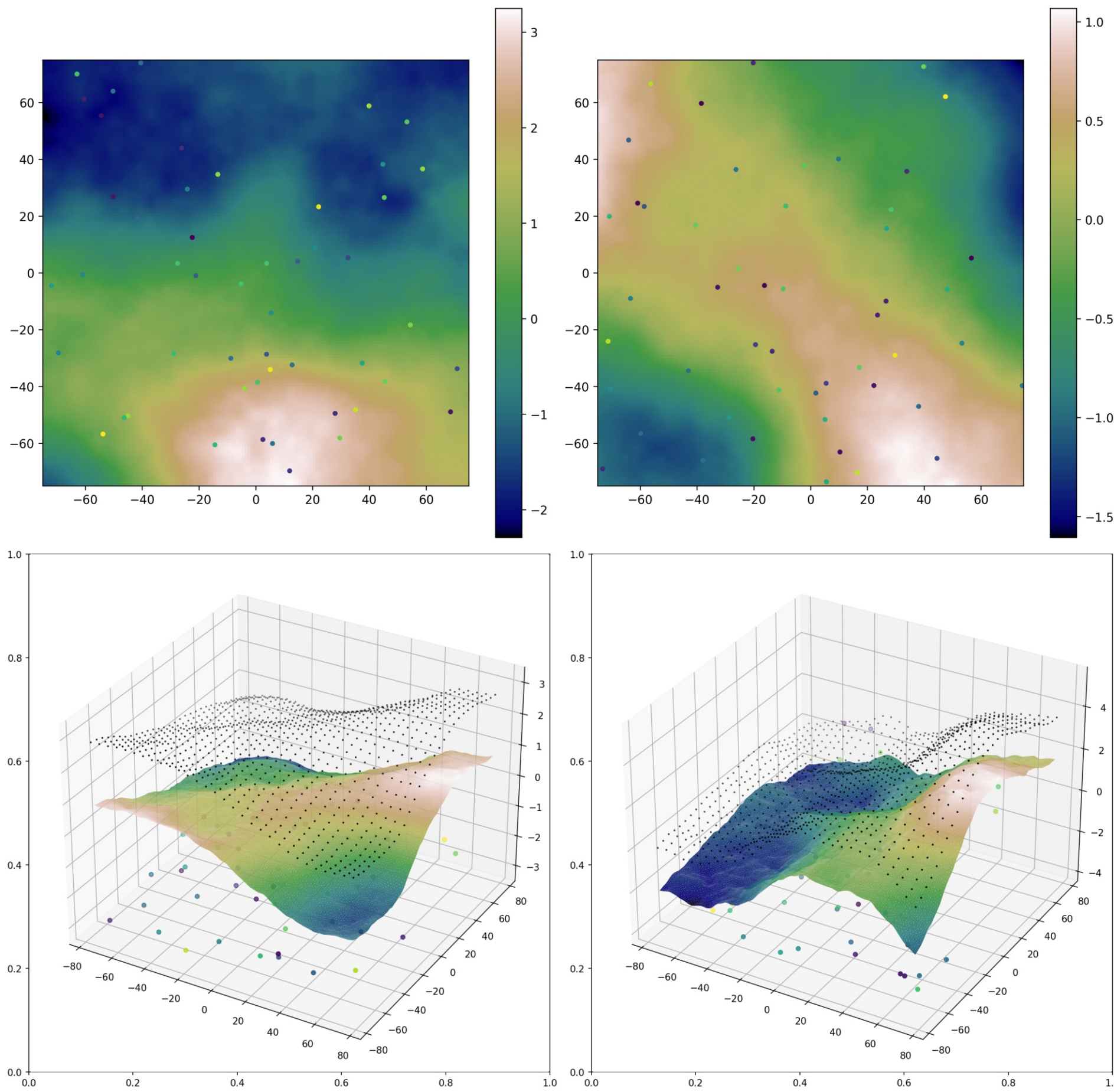


Рисунок 1 - Примеры результатов случайной генерации рельефа на основе данных SRTM и источников магнитных аномалий

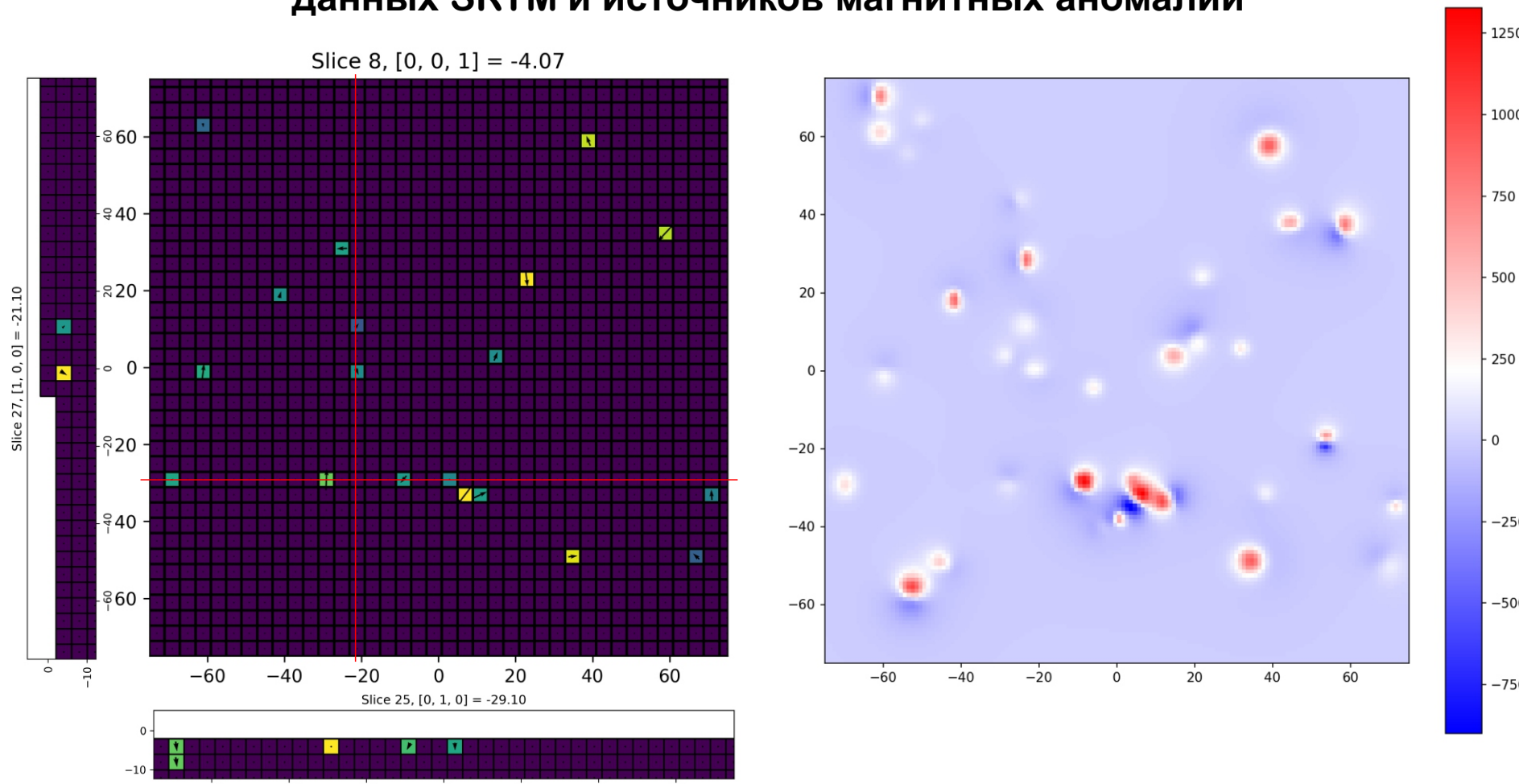


Рисунок 2 - Расположение и характеристики источников магнитных аномалий в модели (слева) и их эффект на виртуальных сенсорах, расположенных уровне поверхности земли при решении прямой задачи (справа)

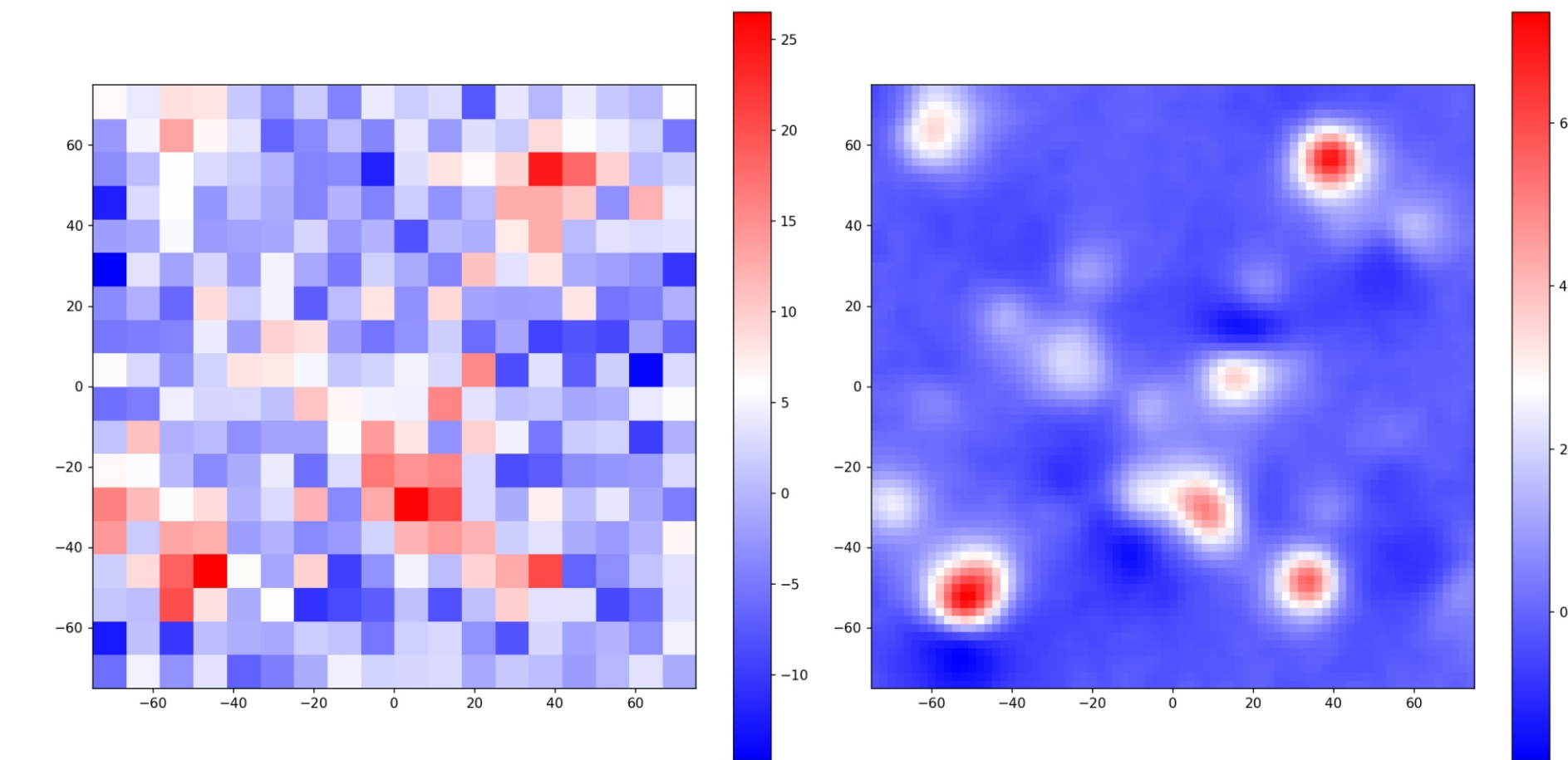


Рисунок 3 - Магнитное поле формирующаяся при решении прямой задачи на высоте 15 метров с шагом сетки 8 метров (слева) и результаты его обработки через ИНС (справа)

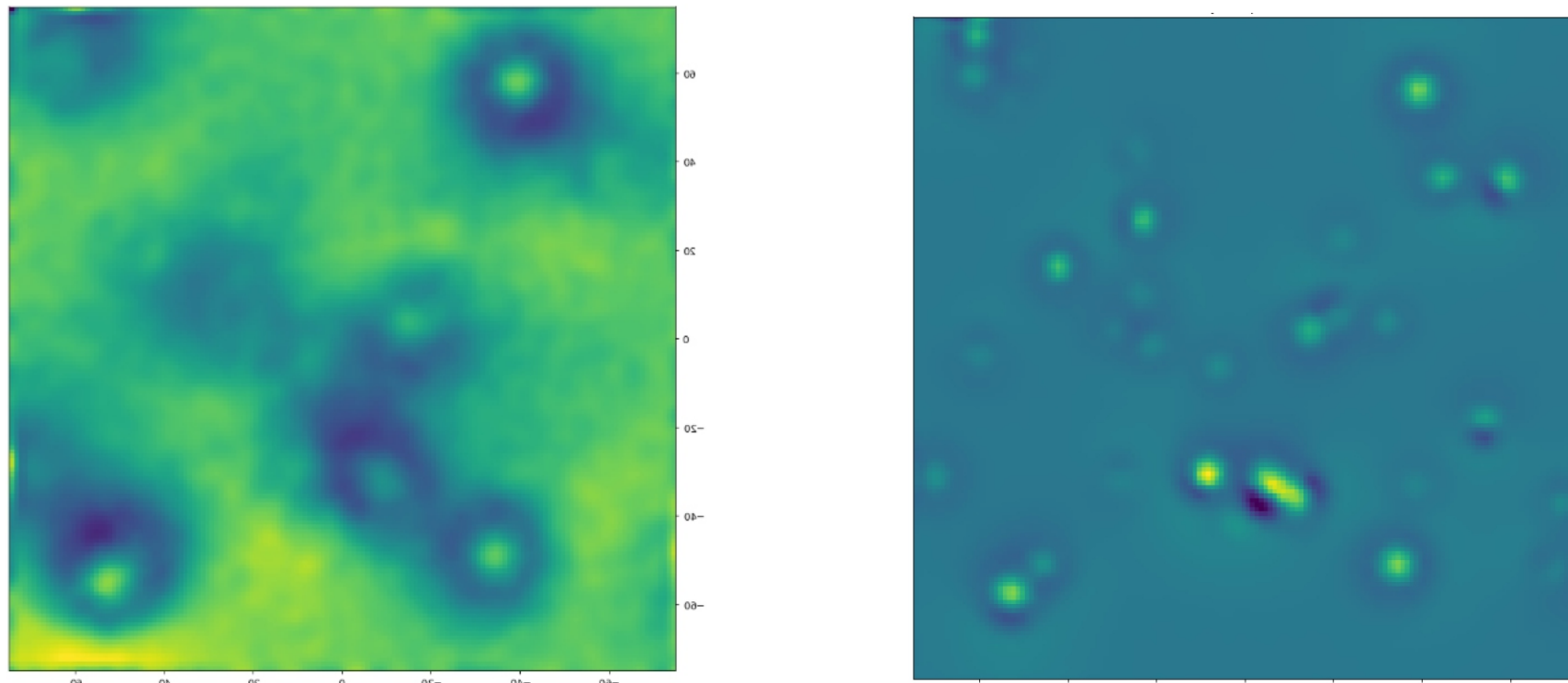


Рисунок 4 - Результаты решения обратной задачи для восстановленного по результатом работы ИНС (слева) и для детализированного поля на высоте 0 метров (справа)