



Общество с ограниченной ответственностью
«Северо-Западная Геолого-Геофизическая Компания «Геокомплекс»

Россия, 195265, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр-кт, д. 111, Лит. А, офис 235. Телефон: 8 (812) 290-00-84
E-mail: geokompleks@szggk.ru, www.szggk.ru

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ

«Апробация методики и проведение опытно-методических наземных геофизических работ методами магниторазведки, гамма-спектрометрии и электроразведки методом сопротивлений в варианте электротомографии на лицензионной площади №3479 (№№1-5) провинции Тоамасина, республика Мадагаскар»

Генеральный директор ООО «СЗГГК «Геокомплекс»

А. Д. Кузовенков,

Ответственный исполнитель

А. Д. Кузовенков

Санкт-Петербург
2024 год

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Авторы отчета:

Перхурова В. А., геофизик 1 кат

Станишевская Ю. Л., геофизик 2 кат

Кириллов В. С., геофизик 2 кат

Погосян Д. О., геофизик 2 кат

Попов В.В., главный геолог

Оглавление

Список иллюстраций	4
Список таблиц	7
Список сокращений	8
Введение.....	9
1. Физико-географическая характеристика.....	11
2. Краткая геологическая характеристика	14
3. Обоснование применения комплекса геофизических методов при поисках россыпных корундов.....	17
4. Методика работ.....	21
4.1 Топогеодезические работы	21
4.2 Геофизические работы	22
4.2.1. Магниторазведка	22
4.2.1.1 Аппаратура и методика измерений	22
4.2.1.2 Методика обработки данных	26
4.2.2 Гамма-спектрометрия	28
4.2.2.1 Аппаратура и методика измерений	28
4.2.2.2 Методика обработки данных	31
4.2.3 Электроразведка	33
4.2.3.1 Аппаратура и методика измерений	33
4.2.3.2 Методика обработки данных	39
4.3 Геологические работы.....	42
5. Результаты работ	43
5.1 Магниторазведка	43
5.2 Гамма-спектрометрия	61
5.3 Электроразведка	80
5.4 Геологические работы.....	103
6. Комплексная интерпретация	108
Заключение	113
Список использованной литературы.....	116

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1. Карта лицензионного участка	9
Рис. 1.1. Карта рельефа Мадагаскара (красным выделен участок работ).....	13
Рис. 2.1. Крупные геологические подразделения (домены) Мадагаскара (красным выделен участок работ).	15
Рис. 2.2. Схема расположения лицензионного участка [15]	16
Рис. 3.1. Обломки кристаллов циркона.....	20
Рис. 4.1.1. GPS Garmin 64	21
Рис. 4.2.1.1. Магнитометр MiniMag.....	23
Рис. 4.2.1.2. Пример вариаций магнитного поля за 3 рабочих дня	24
Рис. 4.2.1.3. Пример графиков контрольных и рядовых измерений по ПР4530,4570,4610	25
Рис. 4.2.1.4. Окно параметров построения графиков данных в ОМ	27
Рис. 4.2.1.5. Пример построения графиков данных в ОМ.....	27
Рис. 4.2.2.1. Спектрометр RS-125 и его комплектующие.....	28
Рис. 4.2.2.2. Измерение спектрометром RS-125 на точке в режиме «анализа»	30
Рис. 4.2.2.3. Рабочее окно спектрометра RS-125 в режиме «на лету»	30
Рис. 4.2.3.1. Электроразведочный генератор тока SGD-EGC200 «SKAT IV»	33
Рис. 4.2.3.2. Электроразведочный измеритель SGD-EEM «MEDUSA-B2»	33
Рис. 4.2.3.3. Неполаризующийся электрод	35
Рис. 4.2.3.4. Схема установки Поль-Диполь точечного зондирования (ТЭЗ-ВП) в варианте электротомографии	36
Рис. 4.2.3.5. Графики значений поляризуемости на частотах 0.3 Гц, 0.61 Гц, 1.22 Гц, 2.44 Гц по профилю 4930.	37
Рис. 4.2.3.6. Графики значений удельного электрического сопротивления на частотах 0.3 Гц, 0.61 Гц, 1.22 Гц, 2.44 Гц по профилю 4930.	37
Рис. 4.2.3.7. Графики рядовых и контрольных измерений: а) поляризуемости; б) сопротивления по профилю 800, прА_600, пкА_800	39
Рис. 4.2.3.8. Пример рабочего пространства программы ZondRes2D.....	41
Рис. 4.3.1. Карта фактического материала по геологическим наблюдениям	42
Рис. 5.1.1. Карта изолиний измеренного магнитного поля	43
Рис. 5.1.2. Вариограмма для данных магниторазведки. Черный график – график зависимости распределения случайных величин от расстояния. Синий – построенная модель.....	44
Рис. 5.1.3. Карта изолиний локального магнитного поля	45
Рис. 5.1.4. Карта графиков локального магнитного поля.....	46
Рис. 5.1.5. Фрагмент карты фактических точек измерения и старые выработки старателей (розовый цвет).....	46
Рис. 5.1.6. Фрагмент карты локальной составляющей МП. Аномалии северо-восточного направления на исследуемом участке	47
Рис. 5.1.7. Фрагмент карты изолиний локального МП. Аномальные структуры, отличающиеся повышенным МП северо-западного направления.....	48
Рис. 5.1.8. Фрагмент карты изолиний локального МП. Области распространения субширотных аномалий МП	49
Рис. 5.1.9. Карта изолиний аналитического сигнала	50
Рис. 5.1.10. Карта изолиний трансформации горизонтальный градиент.....	50
Рис. 5.1.11. Карта изолиний тилт-трансформации.....	51
Рис. 5.1.12. Карта изолиний локальной составляющей МП, с отрисованными линеаментными структурами.....	52
Рис. 5.1.13. Роза направленностей. Основной азимут структур – 80 ⁰ , так же широко	

распространены азимуты 75^0 и 60^0 , секущее направление имеет азимут – 330^0 . На площади выделено 1574 штриха (линеамента)	52
Рис. 5.1.14. Фрагмент карты изолиний локального МП и изолинии рельефа от 790м. Светло-зеленым цветом показаны оси локальных совпадений изоформ рельефа и магнитных аномалий.....	53
Рис. 5.1.15. (слева на право): верхний ряд – деление по высотным отметкам, нижний – по берегам	54
Рис. 5.1.16. Квантиль-квантиль диаграмма. Красная линия – идеальное сходство выборок, две точечные линии по обе стороны от нее ± 1 стандартное отклонение. Синие точки – зависимость выборок данных на высоте от 790м (ось ординат) и до 790м (ось абсцисс). Тонкие перпендикулярные синие линии – медианы. Рыжие точки – сходство выборки по правому (ось ординат) и левому берегу (ось абсцисс), желтые тонкие линии – медианы этих выборок	55
Рис. 5.1.17. Гистограмма распределения случайной величины (измеренного МП): а) на левом берегу; б) на правом берегу.....	56
Рис. 5.1.18. Фрагмент карты изолиний локального МП. Аномалии, вероятно связанные с тектоническими дислокациями (показаны заштрихованными полигонами).	57
Рис. 5.1.19. Фрагмент карты изолиний локального МП. Корреляция в плане магнитных аномалий и изолинии рельефной отметки 790м	58
Рис. 5.1.20. Фрагмент карты изолиний локального МП. Исключение из измеренного МП областей с рельефом более 790м (черный контур).....	59
Рис. 5.1.21. Фрагмент карты изолиний локального МП, области интереса показаны полигонами желтого цвета	60
Рис. 5.2.1. Карта фактического материала по гамма-спектрометрии	61
Рис. 5.2.2. Треугольная диаграмма распределения ЕРЭ в коренных породах и четвертичных отложениях. Красная пунктирная линия – гнейсы, черная пунктирная линия – аллювиальные отложения	62
Рис. 5.2.3. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки террасы реки Sandratsio. Точка наблюдения 111-112.....	63
Рис. 5.2.4. Графики ЕРЭ с фотодокументацией долины (поймы) реки Sandratsio. Точка наблюдения 113	64
Рис. 5.2.5. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки террасы реки Sandratsio. Точка наблюдения 121	64
Рис. 5.2.6. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки старательской дудки на карьере Sahaleone. Точка наблюдения 120	65
Рис. 5.2.7. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенок старательских дудок на притоке реки Sandratsio. Точки наблюдения 122, 123	66
Рис. 5.2.8. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенок старательских дудок на притоке реки Sandratsio. Точки наблюдения 130, 131	66
Рис. 5.2.9. Блочная диаграмма статистических характеристик групп литологических разностей для К, U и Th.....	67
Рис. 5.2.10. Схема расположения ландшафтно-геологических кластеров	69
Рис. 5.2.11. Линейная диаграмма статистических показателей кластеров для К, U и Th	70
Рис. 5.2.12. Карта изолиний распределения Калия	72
Рис. 5.2.13. Карта изолиний распределения Калия под ландшафтной основой	73
Рис. 5.2.14. Карта изолиний распределения Урана	74
Рис. 5.2.15. Кластеры 2 и 3 на карте изолиний распределения Урана	74
Рис. 5.2.16. Карта изолиний распределения Тория	75
Рис. 5.2.17. Фрагмент карты изолиний распределения Тория	75
Рис. 5.2.18. Карта изолиний распределения Тория и Урана	76

Рис. 5.2.19. Карта АРК	77
Рис. 5.2.20. Карта радиогеохимических классов Th и Th+U.....	78
Рис. 5.2.21. Карта перспективных зон по данным гамма-спектрометрии	78
Рис. 5.3.1. Схема расположения профилей на участке	81
Рис. 5.3.2. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4930	83
Рис. 5.3.3. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2590	85
Рис. 5.3.4. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4980	87
Рис. 5.3.5. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2540	89
Рис. 5.3.6. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4570	92
Рис. 5.3.7. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2190	94
Рис. 5.3.8. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 5290	97
Рис. 5.3.9. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2480	98
Рис. 5.3.10. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4730	101
Рис. 5.4.1. Расположение лицензионной площади на геологической карте [15]	105
Рис. 5.4.2. Структурно-геоморфологическая схема	105
Рис. 5.4.3. Расположение месторождений индустриального сырья севера Мадагаскара (красным показан район работ)	107
Рис. 6.1. Корунды в материнской породе	108
Рис. 6.2. Структурно-корреляционная карта	109
Рис. 6.3 Интерпретационные схемы разрезов с графиками локальной составляющей АМП. Участок 1.	111
Рис. 6.4 Интерпретационные схемы разрезов с графиками локальной составляющей АМП. Участки 2-4.	112
Рис.7. Буровые профили (ПР 4730, 5290).....	114

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Координаты угловых точек лицензионного участка.....	10
Таблица 2. Технические характеристики GPS Garmin 64	22
Таблица 3. Технические характеристики магнитометра MiniMag.....	23
Таблица 4. Данные о погрешности RS-125.....	32
Таблица 5. Технические характеристики генератора тока SGD-EGC200 «SKAT IV»....	34
Таблица 6. Технические характеристики измерителя SGD-EEM «MEDUSA-B2».....	34
Таблица 7. Статистические характеристики измеренных данных с учетом поправок ...	44
Таблица 8. Статистические характеристики магнитного поля по двум берегам.....	56
Таблица 9. Статистические характеристики распределения ЕРЭ	63
Таблица 10. Объемы электроразведочных работ	80
Таблица 11. Положение перспективных интервалов в разрезе	102
Таблица 12. Координаты буровых скважин.	114

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АМП – аномальное магнитное поле

АРК – аэрорадиохимическое кратирование

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ЕРЭ – естественные радиоактивные элементы

КП – контрольный пункт

МП – магнитное поле

ПК – пикет

ПР – профиль

СВ – северо-восток

СЗ – северо-запад

ССВ – северо-северо-восток

ТН – точка наблюдения

ТЭЗ-ВП – точечное электрическое зондирование с измерением параметра
вызванной поляризации

УЭС – удельное электрическое сопротивление

ЭДС – электродвижущая сила

ЭТ – электротомография

IGRF – International Geomagnetic Reference Field

ОМ – oasis montaj

ВВЕДЕНИЕ

В период с 28.10.2023 по 25.12.2023 г. компанией ООО "СЗГГК "Геокомплекс" были выполнены наземные геофизические работы на лицензионной площади №3479 (№№1-5) (рис.1) провинции Тоамасина, республика Мадагаскар. Геофизические работы проводились с целью выбора оптимальной методики поисков россыпей благородных корундов (рубинов, сапфиров) геофизическими методами: магниторазведкой, гамма-спектрометрией и электроразведкой методом сопротивлений в модификации электротомографии (ЭТ).

При проведении опытно-методических геофизических работ в пределах участка решались следующие задачи:

выбор оптимальной методики поисков россыпей благородных корундов (рубинов, сапфиров) наземными геофизическими методами;

картирование продуктивного горизонта русловых и террасовых россыпей благородных корундов;

определение глубины залегания верхней кромки коренных пород.

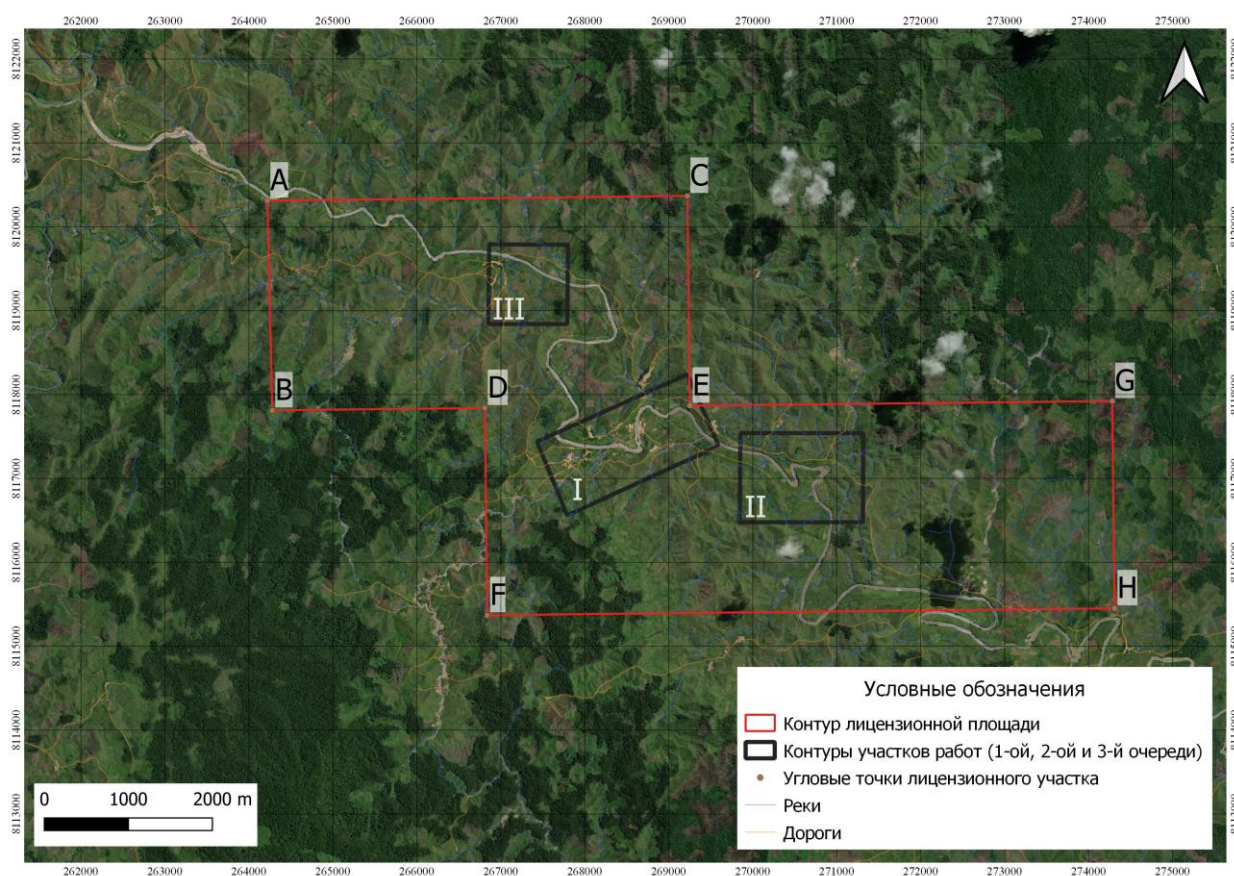


Рис. 1. Карта лицензионного участка

В таблице 1 приведены координаты угловых точек лицензионного участка.

Таблица 1. Координаты угловых точек лицензионного участка

NAME	X	Y
A	264219.738	8120312.967
B	264278.151	8117812.62
C	269221.12	8120368.878
D	266809.39	8117841.1
E	269248.792	8117868.255
F	266837.053	8115370.66
G	274280.648	8117923.367
H	274307.423	8115453.022

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Республика Мадагаскар – островное государство в Индийском океане, у юго-восточного побережья Африки. В его состав входит остров Мадагаскар, четвёртый по величине остров в мире, а также множество мелких удаленных островов. После доисторического раскола суперконтинента Гондвана Мадагаскар отделился от Индийского субконтинента, после чего его флора и фауна развивались в относительной изоляции. Площадь 596 тысяч км² (в т.ч. остров Мадагаскар 590 тысяч км²). Население 29 млн. человек (2023 г). Столица – г. Антананариву.

На западе Мадагаскар отделен от материка Мозамбикским проливом шириной 400 км. Протяженность береговой линии составляет 5 080 км, она мало изрезана. Восточный и западный берега низкие, плоские, почти прямолинейные. Восточный берег по всей длине покрыт песчаными дюнами, за которыми находятся лагуны, некоторые из которых соединены искусственно вырытыми каналами. Вдоль западных берегов тянутся коралловые рифы. Южное побережье острова высокое, местами обрывистое. В северо-западной и крайней северной частях берег скалистый, высокий и очень изрезанный. Остров Мадагаскар представляет собой древний кристаллический блок, отделившийся от Африканского континента в конце палеозоя. Высокое плато, вытянутое с севера на юг более чем на 800 км. Поверхность его пологая, ступенчато понижающаяся с востока на запад и глубоко расчлененная на отдельные массивы, между которыми располагаются обширные и ровные плоскодонные котловины и долины. На западе Высокое плато переходит в более низкое плато высотой менее 800 м, а на востоке оно спускается двумя крутыми уступами к узкой (10-20 км) прибрежной холмистой равнине. Для Высокого плато характерны малопродуктивные красные ферралитовые почвы. На восточной прибрежной равнине распространены преимущественно красно-желтые и красные ферралитовые почвы, местами с мангровыми почвами. На западном побережье развиты коричневатокрасные латеритные почвы, на юго-западе — красно-коричневые. Эрозия почв широко распространена по всему острову. Большая часть территории Мадагаскара покрыта густой сетью рек. Реки, впадающие в Мозамбикский пролив, не так многочисленны, но гораздо длиннее, полноводны летом (с ноября по апрель) и маловодны зимой. Наиболее крупные реки - Мангуки (714км), Бечибука (525км), Унилахы (400км), Чирибихина (380км), Махавави (365км), Суфия (328км) и др. На юго-западе в сухой сезон некоторые малые реки пересыхают. Судосходные участки есть только в устьях крупнейших рек.

Растительность острова Мадагаскар относится к Мадагаскарской подобласти Палеотропической флористической области. Многие из известных здесь видов (более 6700) являются эндемиками. Тропические леса сохранились на 10% территории. Преобладают вторичные саванны. На юго-западе развита тропическая полупустыня.

Животный мир Мадагаскара своеобразен. Наиболее характерными представителями являются лемуры и тенреки (вид насекомоядных). Почти все птицы острова являются эндемиками. Здесь обитают зеленые попугаи, ярко-красные кардиналы, сизые голуби, морские птицы. Разнообразны рептилии: хамелеоны, гекконы, игуаны, различные виды змей (ядовитые змеи на острове отсутствуют).

Климат острова тропический, на северо-западе - субэкваториальный муссонный. На приморской восточной низменности и обращенных к востоку уступах Высоких плато климат жаркий и влажный, со среднемесячными температурами от 13-20°C зимой до 27-33°C летом, сумма осадков 1500-3000 мм в год и более. На Высоких плато климат сухой и прохладный, со среднемесячными температурами от 13 до 20°C (зимой на больших высотах иногда бывают заморозки) и годовой суммой осадков 1000-1500 мм. На западных плато и низменностях резко различаются летний дождливый и зимний сухой периоды. Количество осадков 500-1000 мм, на крайнем юго-западе менее 500 мм в год.



Base 802924AI (C00455) 1-03

Рис. 1.1. Карта рельефа Мадагаскара (красным выделен участок работ)

2. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В геологическом строении острова принимают участие метаморфические породы докембрийского возраста, образующие фундамент и занимающие около 2/3 площади поверхности. Этот фундамент составляет примерно две трети острова. Это сложная геологическая область, которая вмещает большинство минеральных ресурсов страны. Она состоит из разнообразных архейско-протерозойских (от 3,2 млрд. до 530 млн. лет) пород различного состава и подразделяется на пять основных комплексов или доменов по их литологии, возрасту и структурному положению (рис.2.1). Широко распространены архейские гнейсы, мигматиты, амфиболиты, кварциты. Характерны интрузии гранитоидов, габброидов и ультраосновных пород. На западе и северо-западе докембрийский фундамент погружается под осадочный чехол, который сложен породами юрского возраста – песчаниками и глинистыми сланцами. Вдоль восточных и южных окраин – распространены центры вулканизма мелового возраста. На западном побережье – присутствуют карбонатно-терригенные отложения. Широкое развитие на острове имеют площадные латеритные коры выветривания, глинистые формирования которых достигают многометровой мощности.

Мадагаскар богат полезными ископаемыми. На острове ведется промышленная отработка месторождений хромитов, никеля, графита, титана. Присутствуют так же месторождения бокситов, железа, урана, медных руд. Многочисленны проявления драгоценных и поделочных камней – сапфира, рубина, цветных турмалинов, аметистов, гранатов, кордиерита, розового кварца и других, отработка которых ведется старателями.

Лицензионная площадь находится в провинции Toamasina (комунна Saranambana) на расстоянии около 400 км (270 км по прямой) от столицы страны и в 40 км от города Andilamena, и представляет собой пять смежных квадратных участков размером 2,5х2,5 км каждый (рис.2.2). Рельеф территории – резкохолмистый, что весьма осложняет передвижение по нему в дождливую погоду. Основной рекой площади является р. Sandratsio, текущая с северо-запада на юго-восток и пересекающая всю площадь по диагонали. Наиболее крупными притоками являются р.р. Sahaleone и Fapanambu.

Породы, участвующие в геологическом строении лицензии, представлены архей-протерозойскими гнейсами, слюдястыми сланцами и гранитами, реже – амфиболитами и принадлежат домену Antogil-Masora. На водоразделах и пологих склонах отмечаются мощные (до 10-12 м) коры выветривания, сложенные красными, красно-бурыми и пестрыми глинами.

На территории лицензии в 2014-2016 гг проводились рекогносцировочные работы доктором минералогических наук А. Ю. Кисиним и геологом О.В. Широковым. В 2019г геологами С.М. Мешалкиным и О.В. Хотылевым в центральной части лицензии в течение месяца была выполнена серия геологических маршрутов, а также пройдены экскаваторные шурфы в долине р. Sahaleone и проведено их опробование с последующей обработкой проб и выделением полезного компонента [13].

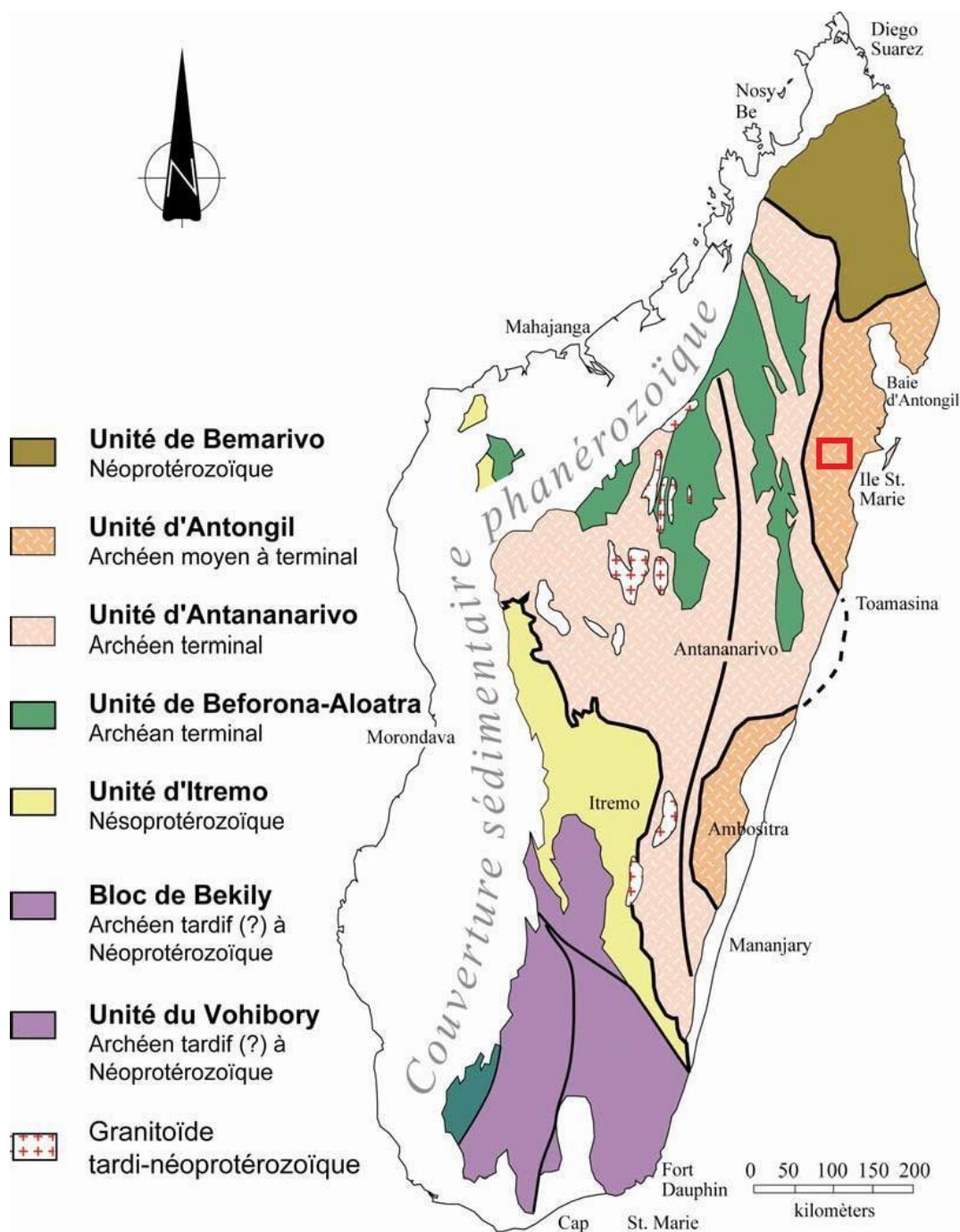


Рис. 2.1. Крупные геологические подразделения (домены) Мадагаскара (красным выделен участок работ).

3. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ РОССЫПНЫХ КОРУНДОВ

Определяющим критерием на основании рудопроявлений региона для корунда является литолого-формационный горизонт (горизонт песчаных пород). Поэтому, применяемые методы должны быть рассчитаны, в первую очередь, на выявление этого критерия в геофизических полях.

Так как все продуктивные горизонты связаны с песчаными отложениями, то был подобран комплекс геофизических методов, направленный на разделение и выделение песчаных слоев на фоне глинистых толщ.

Практика поисковых работ в регионах России, СНГ и стран дальнего Зарубежья показывает, что песчаные толщи среди вмещающих глинистых пород достаточно четко фиксируется в электрическом поле благодаря различию УЭС и наличию диффузионно-адсорбционных процессов в исследуемом пространстве при наложении искусственного электрического поля.

В геолого-геофизической литературе и профильных научно-исследовательских работах, имеющих в открытом доступе, можно найти информацию о широком применении магниторазведки в качестве вспомогательного метода при поисках россыпных месторождений.

На участке лицензии, в частности на водоразделах и пологих склонах отмечаются мощные (до 10-12 м) коры выветривания, сложенные красными, красно-бурыми и пестрыми глинами. В концентратах проб на территории концессии, исходя из ранее проведенных работ, встречается следующий основной набор минералов: магнетит, ильменит, гранат, лимонит, корунд, циркон, рутил, дистен, монацит.

Именно наличие магнетита в тяжелой фракции дает возможность использовать магниторазведку при поисках россыпей благородных корундов. Естественно, что пространственное положение россыпного магнетита в аллювиальных россыпях корундов, вследствие различной миграционной способности, хотя и близко, но не идентично.

Также следует отметить эффективность магниторазведки при структурно-тектонических построениях. В данном ключе магниторазведка позволяет выделить как непосредственно структуры неизменных гнейсов кристаллического фундамента, так и тектонические зоны, связанные с разрывными нарушениями.

Таким образом, ссылаясь на работы по поиску золотоносных россыпей, можно предположить, что аллювиальные россыпи с содержанием магнетита, контролируются низкоамплитудными магнитными максимумами и аномалиями вертикального градиента

магнитного поля, поляризующимися объектами со средней интенсивностью, локальными повышениями сопротивления в низкоомной толще [3].

Для локализации перспективных участков и рационального планирования бурения на поисковой стадии изучения геологического строения россыпных месторождений чаще всего используют методы электроразведки. Наиболее часто используемым методом для решения данных задач является метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Однако, на данный момент существует множество опубликованных результатов применения электротомографии, доказывающих, что электротомография обладает наибольшей разрешающей способностью, детальностью и мобильностью, в рамках решения тех же задач.

В электротомографии, для целей разведки, изучают и используют параметры удельного электрического сопротивления (электропроводность) и вызванной поляризуемости в разрезе.

С точки зрения электропроводности, горные породы можно рассматривать в общем случае как трехкомпонентные образования, состоящие из твердого вещества (кристаллический скелет), жидкости (чаще всего водные растворы солей) и газа.

В рамках данных работ исследования проводятся в горизонтально слоистом пространстве, представленном терригенным разрезом и породами неизменного кристаллического фундамента. В данных условиях основным видом переноса заряда является ионная проводимость в жидкой фазе. Такая проводимость обуславливается переносом зарядов ионами, которые образуются при отрыве электронов от атомов или при присоединении электронов к атому.

Таким образом, распределение УЭС в разрезе почти полностью зависит от насыщенности раствором электролита порового пространства пород (совокупности пустот внутри горной породы, способной вмещать в себя жидкую и газообразную фазу) – то есть более водонасыщенные и пористые породы обладают меньшим параметром УЭС.

Второй рассматриваемый параметр – вызванная поляризация. Под эффектом вызванной поляризации обычно понимают совокупность электрохимических и электрокинетических процессов, происходящих в горных породах под действием электрического тока и сопровождаемых возникновением вторичных ЭДС. Как правило, эти вторичные ЭДС вызванной поляризации возникают на границе раздела жидкой и твердой фаз и создают вторичный ток, который направлен противоположно первичному току. Если в поляризующем поле оказывается порода, содержащая рассеянные электронно-проводящие включения, то на поверхности каждого из них происходят

процессы, подобные описанным выше, и каждое из включений становится дипольным источником вторичного поля.

Среди ионопроводящих пород, глины отмечены повышенными поляризационными свойствами. Установлено, что присутствие глинистых минералов в составе горной породы оказывает заметное влияние на электрические свойства пород [10].

Таким образом, в рамках данных работ параметр поляризуемости позволит выделить комплексы, содержащие глинистый материал, а также локализовать места накопления тяжелой фракции, в том случае, если тяжелая фракция содержит в себе достаточное количество электропроводящих минералов, таких как магнетит.

В конечном итоге, анализ разрезов параметров УЭС и поляризуемости позволит решить такие задачи, как определение рельефа коренных пород и мощности рыхлых отложений, прослеживание погребенных долин и палеорусел, локализация уровня грунтовых вод, а также определение места накопления тяжелой фракции аллювиальных отложений.

В горных породах в породообразующих и акцессорных минералах присутствуют естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ). Они могут находиться в различных формах: на границах минеральных зерен и в трещинах, а также замещать атомы с близким радиусом в кристаллической решетке минералов, либо образовывать собственно минералы урана и тория. Различают высокордиоактивные акцессорные минералы, такие как сфен, ортит, монацит, циркон, лопарит и др. Такие минералы при механическом разрушении пород накапливаются в виде обломочного материала, в тяжелой фракции аллювиальных отложений [8].

Из материалов предшественников [13], предоставленных представителем Заказчика, известно, что в концентратах проб на территории лицензионной площади были обнаружены кристаллы циркона и монацита. В данных минералах часто происходит изоморфное замещение атомов кристаллической решетки, где атомы церия (Ce^{3+}) замещаются торием, а атомы циркония (Zr^{4+}) могут быть замещены торием либо ураном [7]. Впоследствии, в ходе работ и беглого осмотра отвалов местных старателей, нами так же были найдены, предположительно, обломки кристаллов цирконов (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Обломки кристаллов циркона

Вышесказанное говорит о возможности совместного нахождения корундов и/или рубинов, сапфиров с высокорadioактивными минералами, содержащимися в тяжелой фракции продуктивного горизонта («пески»), представленного галечно-песчано-глинистыми отложениями [13]. Поэтому, применение гамма-спектрометрии для поиска продуктивного горизонта в аллювиальных отложениях рек Sandratsio и Sahaleone, в комплексе с другими геофизическими методами может дать положительный результат.

4. МЕТОДИКА РАБОТ

4.1 Топогеодезические работы

Перед началом измерений выполнялось топогеодезическое маркирование геофизических профилей по сети 40 x 10 м. Разбивка проводилась с помощью GPS Garmin 64 (рисунок 4.1.1.) в соответствии с «Инструкцией по развитию съемочного обоснования и съемке рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS». Технические характеристики GPS Garmin 64 указаны в таблице 2.



Рис. 4.1.1. GPS Garmin 64

Таблица 2. Технические характеристики GPS Garmin 64

Тип	портативный
Область применения	универсальный
Поддержка ГЛОНАСС	есть
Программное обеспечение	Garmin
Количество путевых точек	5000
Количество маршрутов	200
Количество точек в маршруте	10000
Тип экрана	LCD-цветной
Диагональ экрана	2.6 дюйм.
Размер экрана	3.6х5.5 см
Разрешение экрана	160х240 пикс.
Размер встроенной памяти	4 Гб
Поддержка EGNOS	есть
Поддержка WAAS	есть
Тип антенны	внешняя
Время работы	16 ч
Подключение	USB
Габариты (ШхВхГ)	61х160х36 мм
Вес	230 г

4.2 Геофизические работы

4.2.1. Магниторазведка

Магниторазведка может применяться на всех этапах геологоразведочных работ и решает в различном сочетании с другими методами широкий круг задач – от помощи геологическому картированию до картирования даек и жил.

4.2.1.1 Аппаратура и методика измерений

Аппаратура

Для измерений магнитных вариаций и пешеходной съемки использовались магнитометры MiniMag (изготовитель: ООО «ГЕОДЕВАЙС») (рис.4.2.1.1). Технические характеристики указаны в таблице 3. Магнитометры прошли поверку и имеют все необходимые сертификаты.

Таблица 3. Технические характеристики магнитометра MiniMag

Наименование	Значение
Принцип работы	протонный на эффекте Оверхаузера
Рабочий диапазон полей	20 000 ÷ 110 000 нТл
Абсолютная погрешность	0.2 нТл
Чувствительность	СКО до 0.015 нТл в цикле 3 с / 0.026 нТл/√Hz
Разрешение	0.001 нТл
Оптимальный угол между осью датчика и вектором поля	90°
Рабочий диапазон наклонений относительно оптимального угла	± 45°
Ориентационная погрешность	0.5 нТл (±45°)
Градиентоустойчивость	10 000 нТл/м
Минимальный цикл измерений	0.5 с
Стабильность радикала	10 лет при н.у.
Интерфейс связи с ПК	USB или RS-232 (опция)
Объем памяти	1 000 000 измерений в режиме МВС или 250 000 - с координатной привязкой
Питание	10 ÷ 16.8 В, Li-ion или свинцовый аккумулятор
Энергопотребление	3.7 Вт в цикле 2 с 3.2 Вт в цикле 3 с 1.4 Вт в цикле 10 с
Диапазон рабочих температур	–40 ÷ +60 °С, читаемость дисплея обеспечивается при температурах выше -20 °С
Масса рабочего комплекта	3.1 кг вместе с АКБ
Номинальное напряжение Li-ion аккумулятора	14.6 В
Номинальная ёмкость АКБ	4 А·ч
Время непрерывной работы при полностью заряженной АКБ и температуре 20 °С	15.9 ч в цикле 2 с 18.7 ч в цикле 3 с 42 ч в цикле 10 с



Рис. 4.2.1.1. Магнитометр MiniMag

Методика измерений

Магниторазведочные работы проведены на участке по сети профилей 40×5 м.

Магнитная съемка сопровождалась учетом вариаций магнитного поля с интервалом времени 2 секунды. Магнитовариационная станция (МВС) устанавливалась в спокойном магнитном поле в непосредственной близости к участку. На рисунке 4.2.1.2 представлены примеры графиков вариаций магнитного поля за несколько дней.

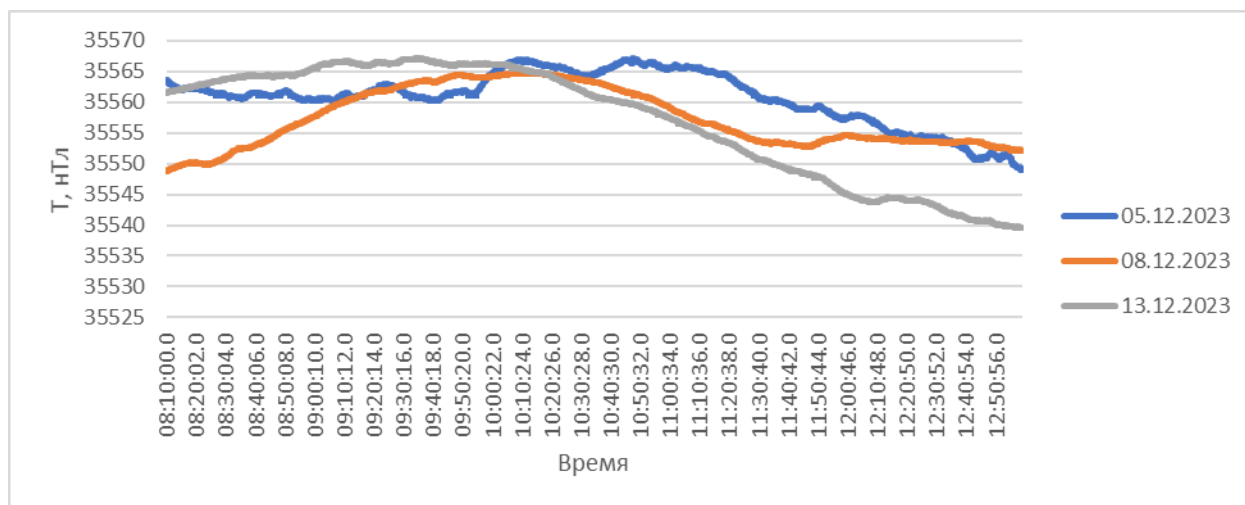


Рис. 4.2.1.2. Пример вариаций магнитного поля за 3 рабочих дня

Контроль

Согласно инструкции по магниторазведке, ежедневно перед началом и по окончании работ выполнялись измерения на контрольном пункте (КП) для контроля стабильности работы приборов и приведения полученных значений к единому уровню.

Навигация вдоль профилей и привязка точек наблюдения осуществлялись по спутниковому навигатору Garmin GPS-64.

Объём контрольных измерений должен быть не ниже 5% от общего объёма [3]. Объём контрольных измерений на всей площади работ составил 1824м, что более 5% от общего объёма и измерений.

Среднеквадратичная погрешность измерений оценивалась по формуле 4.2.1.1:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{2n}}, \quad (4.2.1.1)$$

где $\Delta_i = i'_i - i''_i$ - разность значений i -ой пары; i'_1, i'_2, \dots, i'_i и $i''_1, i''_2, \dots, i''_i$ -- исходный и повторный ряды измеренных значений; n – число измерений в каждом ряду

Среднеквадратическая погрешность магнитной съёмки составила $\pm 0,6658$ нТл, что соответствует высокому классу точности.

Пример контрольных измерений представлен на рисунке 4.2.1.3.

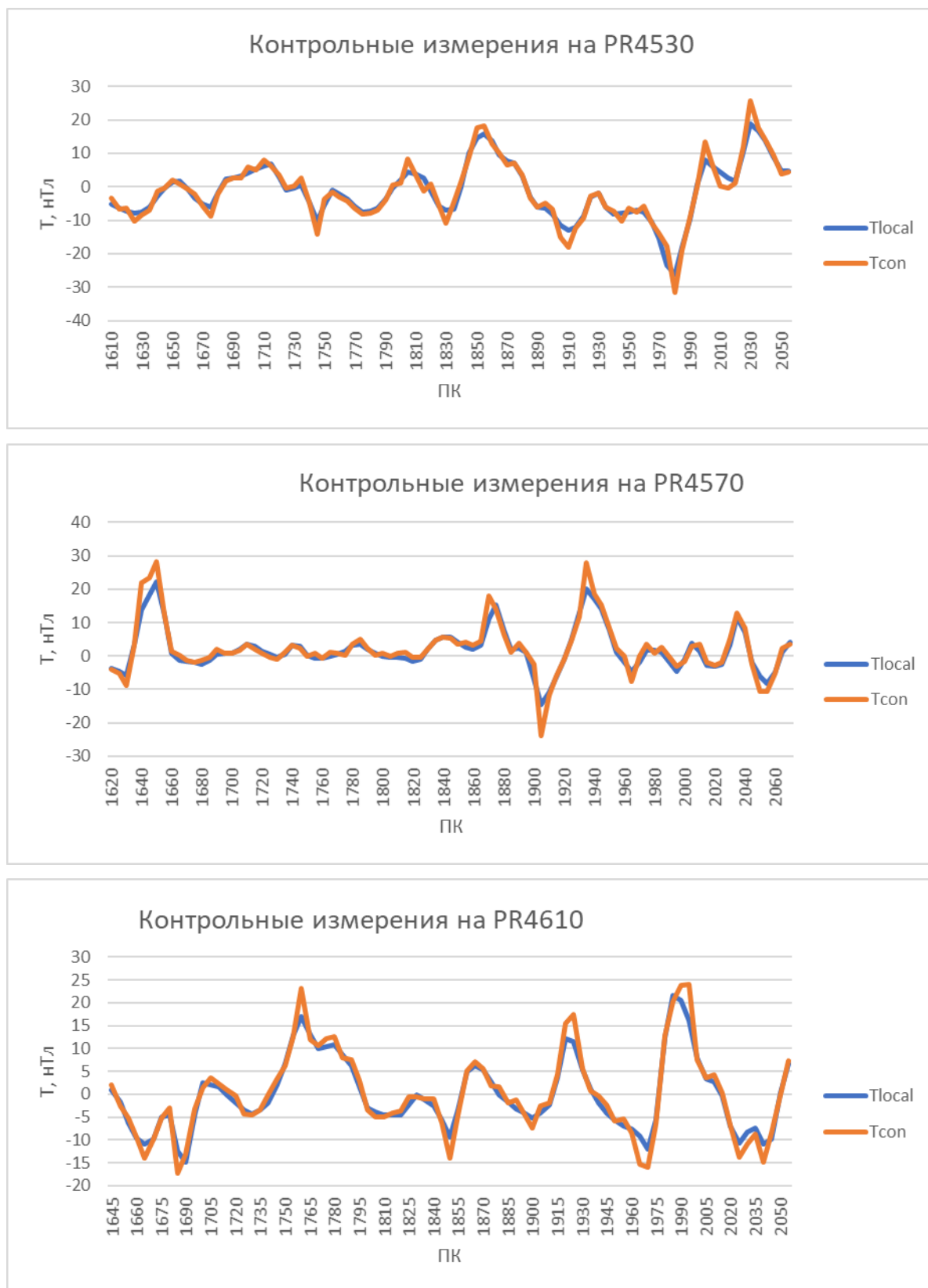


Рис. 4.2.1.3. Пример графиков контрольных и рядовых измерений по ПР4530,4570,4610

4.2.1.2 Методика обработки данных

Измеренные данные по магниторазведке извлекались в формате ".txt" через программу "МИНИМАГ", производства Geodevice, и сохранялись в формате ".xlsx". Обработка данных магниторазведки, а также моделирование и визуализация результатов осуществлены в программе Oasis Montaj (OM) производства Geosoft inc. и программы Surfer, входящей в пакет Golden Software.

Расчет аномального магнитного поля (ΔT_a , АМП) выполнен по формуле (4.2.1.2):

$$\Delta T_a = T - T_{\text{норм}} - \delta T_{\text{вар.}}, \quad (4.2.1.2)$$

где T – измеренное поле; $T_{\text{норм}}$ – нормальное (главное) поле; $\delta T_{\text{вар.}}$ – поправки за вариацию.

Поправки за вариации магнитного поля рассчитаны по формуле (4.2.1.3):

$$\delta T_{\text{вар.}} = T_{\text{вар.изм.}} - T_{\text{вар.ср.}}, \quad (4.2.1.3)$$

где $T_{\text{вар.изм.}}$ – измеренные значения магнитного поля на вариационной станции; $T_{\text{вар.ср.}}$ – среднесуточные вариации.

Далее, рассчитывается T_{local} (локальная составляющая магнитного поля) для конкретного района работ. Локальные аномалии (T_{local}) обусловлены разной намагниченностью геологических структур или залежей руд. Геологические тела, которые выделяются в локальном магнитном поле, намного меньше размером, чем региональные объекты. Данная трансформация позволит исключить из общего поля региональную составляющую и проследить локальные объекты.

На основании полученных значений T_{local} , строятся карты графиков и изолинии магнитного поля.

Построение карт графиков магниторазведки

На основе исходных данных построены карты графиков аномального магнитного поля в программе Oasis Montaj (рис.4.2.1.5). Параметры отрисовки представлены на рис.4.2.1.4. Параметр «Profile scale» выбирается так, чтобы представить графики в наиболее удобном виде без потери их информативности.

Profile plot ? X

Profile channel: Ttotal

Profile scale (units/mm): 15

Profile base: 35503.3075

Log option: linear

Log base: 1.0

Smooth line: no

Line colour: [Black]

Line thickness (mm): 0.15

Line style: solid

Line pitch (mm): 5

Positive fill colour: [Red]

Negative fill colour: [Blue]

Maximum down-line gap:

Join to line ends?: yes

Reverse plot order?: yes

OK Cancel

Рис. 4.2.1.4. Окно параметров построения графиков данных в ОМ

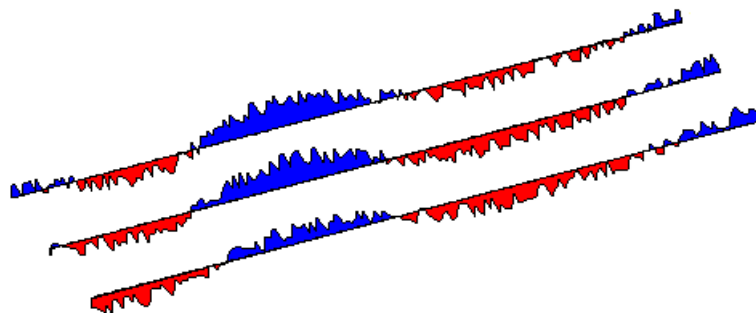


Рис. 4.2.1.5. Пример построения графиков данных в ОМ

4.2.2 Гамма-спектрометрия

4.2.2.1 Аппаратура и методика измерений

Аппаратура

Гамма-спектрометрическая съемка проводилась при помощи портативного гамма-спектрометра RS-125 (рис.4.2.2.1). Он имеет встроенный детектор с кристаллом йодида натрия объемом 6.3 кубических дюймов для регистрации гамма-излучения и обладает разрядностью АЦП 1024 канала.



Рис. 4.2.2.1. Спектрометр RS-125 и его комплектующие

Основные конструктивные особенности:

- Благодаря использованию детектора с большим кристаллом йодида натрия размером "2x2x1,5" (6,3 куб. дюйма), устройство обладает высокой чувствительностью. Энергетическая характеристика составляет 30 кэВ – 3000 кэВ.
- Полная чувствительность к одиночным импульсам: Am-241 - 75 отсчет/с/МБк/м, Cs-137 – 163 отсчет/с/МБк/м, Co-60 – 267 отсчет/с/МБк/м. Стандартные уровни чувствительности более чем на 50% выше, чем у аналогичных устройств других производителей, благодаря большому размеру кристалла и самым современным электронным компонентам.

- Возможность проведения полномасштабного анализа с отображением результата в % калия (K) и ppm урана (U) и тория (Th).
- Высокое быстродействие, хорошо слышимый звуковой сигнал при частоте взятия отсчетов 20 1/с помогает определить местоположение источника, не приковывая внимание оператора к дисплею.
- Специальная жесткая конструкция, прочный корпус из литого алюминия с надежным обрезиненным внешним покрытием, которое работает как амортизатор, и обеспечивает тепловую изоляцию.
- Полная защита от атмосферных воздействий по IP67 – позволяет кратковременно погружать прибор в воду, и обеспечивает его полную защиту от пыли.
- Вместе с прибором поставляется комплект перезаряжаемых NiMH аккумуляторных батарей (4xAA), зарядное устройство (для пользователей из других стран поставляется специальное зарядное устройство), и кабель для зарядки от гнезда прикуривателя (12 В).
- Аккумуляторные батареи обеспечивают работу прибора в течение как минимум 8 часов при температуре 15°C.
- Для правильной работы прибора не требуются радиоактивные источники.
- Размер прибора 10,2" x 3,2" x 3,6" (259 x 81 x 91 мм), масса с батарейным модулем 4 фунта (1,8 кг).
- Диапазон рабочих температур от -20 до 50 градусов Цельсия (ограничением является дисплей).

Методика съемки

Гамма-спектрометрическая съемка проводилась в двух режимах. Первый режим, режим «анализа» («Assay») предназначен для проведения измерений на точке. Прибор необходимо устанавливать чувствительным датчиком к поверхности измерения, на наиболее ровный участок коренного выхода породы. Длительность измерения на каждой точке (время накопления спектра) было выбрано в 90 секунд. Пример проведения измерений в режиме «анализа» показан на рисунке 4.2.2.2.

Съемка в данном режиме проводилась с целью выявления закономерности распределения содержаний U, Th, K в аллювиальных отложениях (в том числе в продуктивном горизонте) и коренных породах, и дальнейшей интерпретации данных, полученных в результате площадных работ.



Рис. 4.2.2.2. Измерение спектрометром RS-125 на точке в режиме «анализа»

Во втором спектрометр работал в режиме «на лету» («OnFlyAssay»), делая автоматические замеры каждые 30 секунд, находясь в воздухе на небольшом расстоянии от поверхности земли. Работы в этом режиме велись по профилям магниторазведки по сети 40х10 м. Пример рабочего окна при съемке «на лету» (рис.4.2.2.3).



Рис. 4.2.2.3. Рабочее окно спектрометра RS-125 в режиме «на лету»

4.2.2.2 Методика обработки данных

Первичная обработка данных заключалась в проверке качества данных, определении вбросовых значений и их исключении, а также первичной визуальной оценке пиков интересующих аномалий.

Для данных, полученных в режиме «анализ», в программе Grapher v10.2 были построены вертикальные графики, отражающие изменение содержаний U, Th, K с глубиной. Для большей наглядности к графикам прикреплены фото обнажений с описанием литологических слоев и точек измерений. Визуализация и подсчет статистических параметров проводились в программе STATISTICA 12.

Обработка и визуализация площадных данных, полученных в режиме «на лету», проводилось в программе Oasis Montaj v. 8.3. Построение карт мощности экспозиционной дозы, содержаний U, Th, K, их отношений, выполнялась методом (Minimum Curvature) с размером ячейки 10 метров, позволяющим минимизировать дисперсию ошибки измерения.

Также был произведен расчет АРК, или АэроРадиогеохимическое Картирование. Метод основан на исследовании структуры взаимосвязей ЕРЭ с помощью регрессионного или компонентного анализ. Данный подход в автоматизированном варианте реализован в методике АРК Зубовым Е.И. и интегрирован в систему LineamGrdW_d64 Зубовым Д.Е. Технология нацелена на выявление радиогеохимически специализированных комплексов горных пород. Метод базируется на разделении исходного радиогеохимического поля на фоновую «скоррелированную» и аномальную «нескоррелированную» компоненты радиогеохимического поля.

Метод «АРК» основан на модели радиогеохимической природы поля, в которой полный вектор содержаний U, Th и K рассматривается как сумма основных слагаемых (4.2.2.1):

$$Q_i = Q'_i + \Delta Q_i, \quad (4.2.2.1.)$$

где Q'_i - фоновая составляющая вектора Q_i со структурой связей, типичной для большинства горных пород и элементарных ландшафтов исследуемого участка; ΔQ_i – аномальная компонента радиогеохимического поля, обусловленная совокупностью влияния наложенных процессов. Вычисление Q'_i как первой главной компоненты корреляционной матрицы проводится методом главных компонент.

Всего по трем признакам (U, Th, K) выделяются шесть основных комбинаций или классов (в скобках показаны условные обозначения и раскраска соответствующих классов на карте): 1 - избыток тория над ураном и калием (Th+, синий цвет);

2 - избыток урана над торием и калием (U+, красный);

3 - избыток калия над ураном и торием (K+, зеленый);

4 - избыток тория и калия над ураном (Th+K+, серый);

5 - избыток тория и урана над калием (Th+U+, лиловый);

6 - избыток урана и калия над торием (U+K+, желтый)

Расчет погрешности измерений

Характеристики портативного гамма-спектрометра RS-125 позволяют осуществлять геофизическую разведку с высокой «чувствительностью». Однако, как и у всех приборов, точность измерений зависит от различных факторов.

Ниже приведена таблица примерных погрешностей прибора, взятая из руководства для RS-125. Данные погрешности рассчитаны с учетом различных отклонений и при определенных условиях, поэтому они используются для примерной оценки точности измерений.

Таблица 4. Данные о погрешности RS-125

K %	1 sigma K%	1 sigma U ppm	1 sigma Th ppm
0	0.000	0.000	0.000
0.1	0.030	0.041	0.006
1	0.096	0.130	0.019
5	0.214	0.291	0.042
10	0.303	0.412	0.060
U ppm	1 sigma K%	1 sigma U ppm	1 sigma Th ppm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.043	0.307	0.027
10	0.135	0.970	0.087
100	0.427	3.067	0.274
1000	1.349	9.698	0.866
10,000	4.27	30.67	2.74
Th ppm	1 sigma K%	1 sigma U ppm	1 sigma Th ppm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.023	0.237	0.539
10	0.072	0.750	1.705
100	0.228	2.373	5.391
1000	0.721	7.504	17.047
10,000	2.28	23.7	53.9

Для различных концентраций, имеют место погрешности не только в вычислениях для одного элемента, но и попутно для двух других, поэтому вычисляется комплексная погрешность для каждого элемента* ($\Delta_{complex}$) по формуле 4.2.2.2 (*руководство к RS-125).

$$\Delta_{complex} = \sqrt{(\Delta K^2 + \Delta U^2 + \Delta Th^2)} \quad (4.2.2.2)$$

Где ΔK , ΔU , ΔTh - погрешности для элементов из таблицы 4 в соответствии с разрядностью измерений. Для калия разрядность измерений составляет 1 при максимальном минимальном значениях 0-2.5%, для урана -10 при 0-15 ppm, для тория – 10 при 0-70.5 ppm.

Ниже приведен расчет комплексной погрешности для K, U, Th.

$$\Delta K_{complex} = \sqrt{(0.096^2 + 0.130^2 + 0.019^2)} = 0.16$$

$$\Delta U_{complex} = \sqrt{(0.135^2 + 0.970^2 + 0.087^2)} = 0.98$$

$$\Delta Th_{complex} = \sqrt{(0.072^2 + 0.750^2 + 1.705^2)} = 1.86$$

4.2.3 Электроразведка

4.2.3.1 Аппаратура и методика измерений

Аппаратура

Для проведения электроразведочных работ методом вызванной поляризации установкой точечного электрического зондирования (ТЭЗ) использовался комплект электроразведочной аппаратуры ООО «НПК СибГеофизПрибор»: генератор - SGD-EGC200 «SKAT IV» (рис. 4.2.3.1) и измеритель SGD-EEM «MEDUSA-B2» (рис.4.2.3.2). Основные технические данные приведены ниже в таблицах 5, 6.



Рис. 4.2.3.1. Электроразведочный генератор тока SGD-EGC200 «SKAT IV»



Рис. 4.2.3.2. Электроразведочный измеритель SGD-EEM «MEDUSA-B2»

Таблица 5. Технические характеристики генератора тока SGD-EGC200 «SKAT IV»

Технические характеристики генератора тока SGD-EGC200 «SKAT IV»	
Выходной ток при выходной мощности не более 200 Вт	от 1 до 1000 мА
Максимальное выходное напряжение генератора тока	± 1500 (от пика до пика) В
Относительная погрешность стабилизации тока	не более 1 %.
Режим работы	С паузой
	Без паузы
Максимальный потребляемый ток генератором тока	не более 12 А
Относительная погрешность установки и нестабильность частоты тока без использования си-стемы GNSS	не более 10^{-6}
Диапазон рабочих температур	от -40 до + 50°C
Габаритные размеры генератора тока	не более 212x77x235 мм
Масса генератора тока	не более 2,8 кг

Таблица 6. Технические характеристики измерителя SGD-EEM «MEDUSA-B2»

Количество гальванически развязанных измерительных каналов (MN)	2
Рабочие частоты измерений, Гц	0 (постоянный ток), 0.019, 0.038, 0.076, 0.152, 0.305, 0.61, 1.22, 2.44, 4.88, 9.76, 19.5, 39.0, 78.1, 156.25, 312.5, 625.0 Гц
Уровень собственных шумов канала MN ($K_u=8$, $F\Delta = 0,1 \dots 10$ Гц), мкВ	< 1
Значение единицы младшего разряда измерения, мкВ	1
Максимальное напряжение измеряемого входного сигнала, В	± 5
Коэффициенты усиления предварительного усилителя	1, 8
Входное сопротивление измерительного канала по постоянному току, МОм	≥ 60
Относительная погрешность измерения в диапазоне от 0.5 мВ до 10 мВ, %	< 1
Относительная погрешность измерения в диапазоне от 10 мВ до 5 В, %	$< 0,1$
Диапазон измерения фазового параметра, °	± 45
Количество разрядов АЦП	23 + знак
Максимальное количество сохраненных записей в ЗУ	131072
Напряжение питания/заряда от внешнего источника постоянного тока, В	4.5 ... 15
Время заряда встроенного аккумулятора, ч	< 2.5
Потребляемая мощность при работе с одним измерительным каналом, Вт	3 (3.5)
Номинальная ёмкость встроенного	51

аккумулятора, Вт•ч	
Диапазон рабочих температур, °C	- 40 ... +70
Габаритные размеры, мм	210•110•70
Масса, кг	< 1.4

В качестве приёмных электродов в линии MN использовались неполяризующиеся электроды Pb-PbCl₂ производства ООО «Геодевайс» со стабильностью потенциала ± 5 мВ (рис.4.2.3.3).



Рис. 4.2.3.3. Неполяризующийся электрод

Обеспечение достаточной мощности для работы генератора тока осуществлялось при помощи двух параллельно соединенных автомобильных аккумуляторов по 12В.

Методика измерений

Электротомография — это комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдений положения электродов. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований. Такой подход позволяет с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а с другой стороны, применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии. Интерпретацию данных электротомографии можно проводить в рамках двумерных и трехмерных моделей [14].

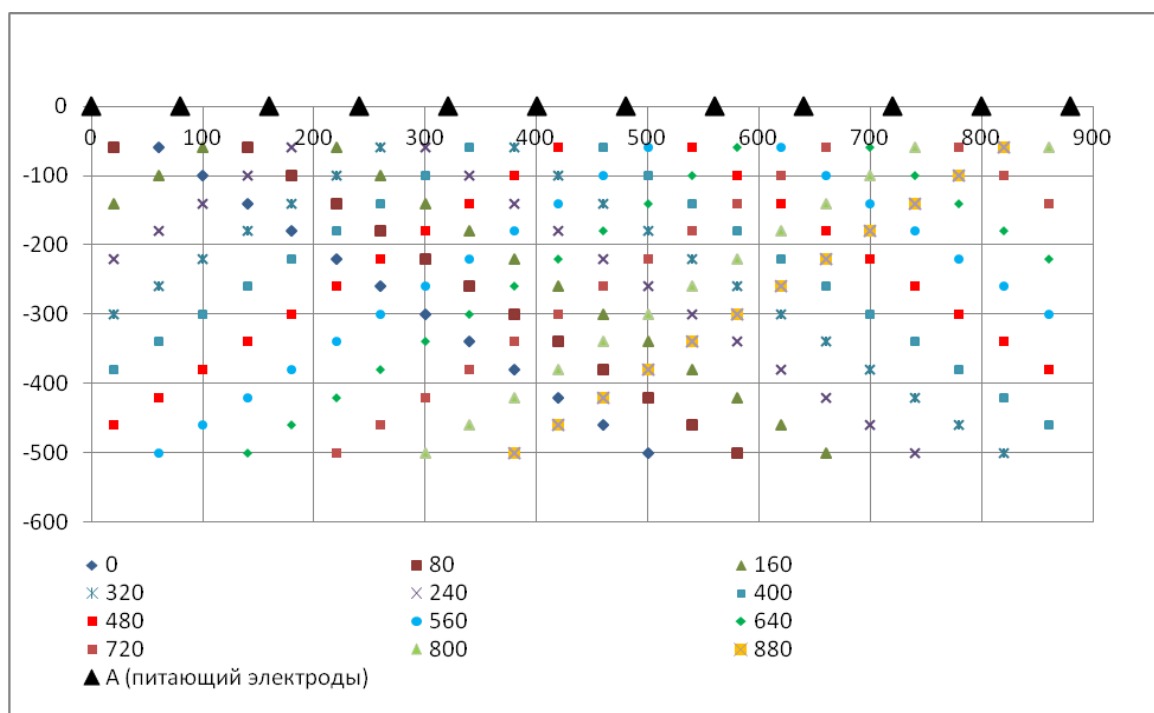


Рис. 4.2.3.4. Схема установки Поль-Диполь точечного зондирования (ТЭЗ-ВП) в варианте электротомографии

Измерения проводятся по следующей схеме (рис.4.2.3.4): устанавливается питающий электрод А0 (пикет 0), затем, приемная линия с замераами перемещается с установленным шагом съемки до обеспечения нужной глубины исследований.

По окончании измерений электрод А перемещается вдоль исследуемого профиля с определенным шагом (на схеме шаг А – 80 м), и съемка происходит по той же схеме. Ни один из приёмных электродов не должен находиться на питающем электроде. В центральной части профиля измерения идут в обе стороны от питающего электрода.

С установкой ТЭЗ-ВП длина питающей линии АВ (линии бесконечность) составляла порядка 2000 метров. Разнос приемной линии MN составлял 5 метров, шаг перемещения линии MN - 5 метров. Шаг питающего электрода А по профилю – 20 метров. Глубина исследования составила приблизительно 60м.

Особое внимание уделялось выбору места заземления для обеспечения наиболее мощного и устойчивого сигнала. Под заземления выбирались увлажненные места (русла ручьев, заболоченные области и т.п.).

Выбор оптимальной частоты

Для выбора оптимальной частоты, на которой будут проводиться измерения, выполнены опытные работы по профилю 4930, расположенном на первом участке (рис. 4.2.3.5, 4.2.3.6). На участках, со стабильно высокой амплитудой сигнала, расхождения в

результатах измерений на различных частотах незначительны, но при отдалении от точки заземления, расхождения становятся всё сильнее и, соответственно, выбор частоты играет всё большую роль. На большей частоте из тестируемых (2.44 Гц) график получился слишком сглаженным в связи с недостаточным временем заряда, на такой частоте будет сложно выделить аномалии поляризуемости. На частоте 1.22 Гц видны, вероятно, ложные единичные «выскоки», которые не проявляются на графиках поляризуемости измеренных на других частотах. Соответственно наиболее подходящими являются частоты 0.3 Гц и 0.61 Гц. По результатам опытных работ аномалии поляризуемости на частоте 0,61 Гц выделяются более контрастно, поэтому она выбрана в качестве рабочей.

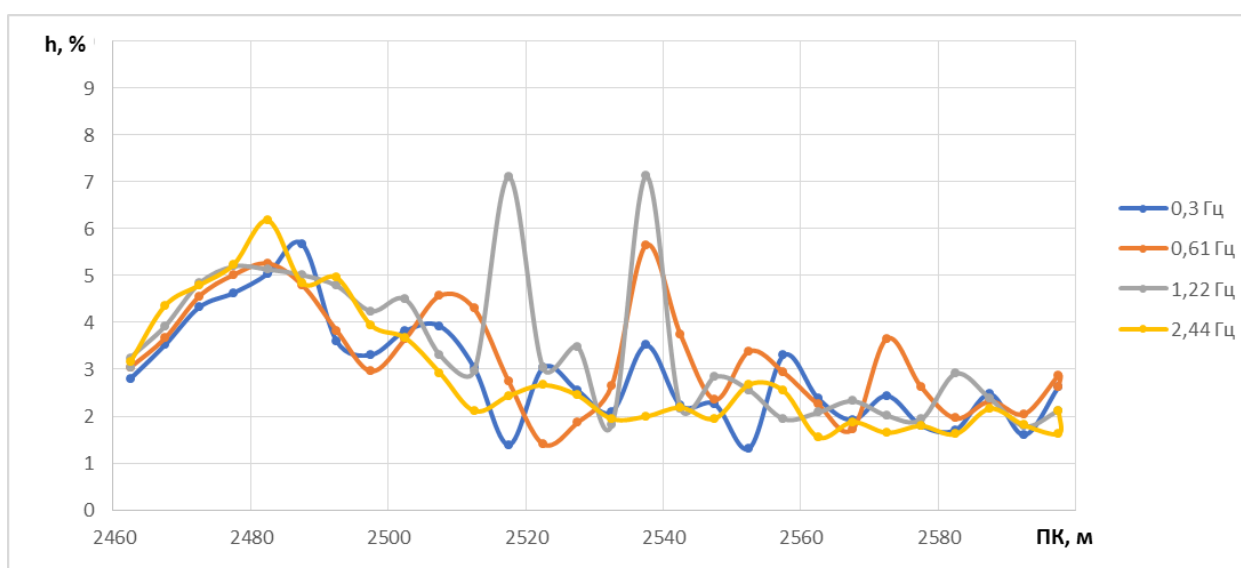


Рис. 4.2.3.5. Графики значений поляризуемости на частотах 0.3 Гц, 0.61 Гц, 1.22 Гц, 2.44 Гц по профилю 4930.

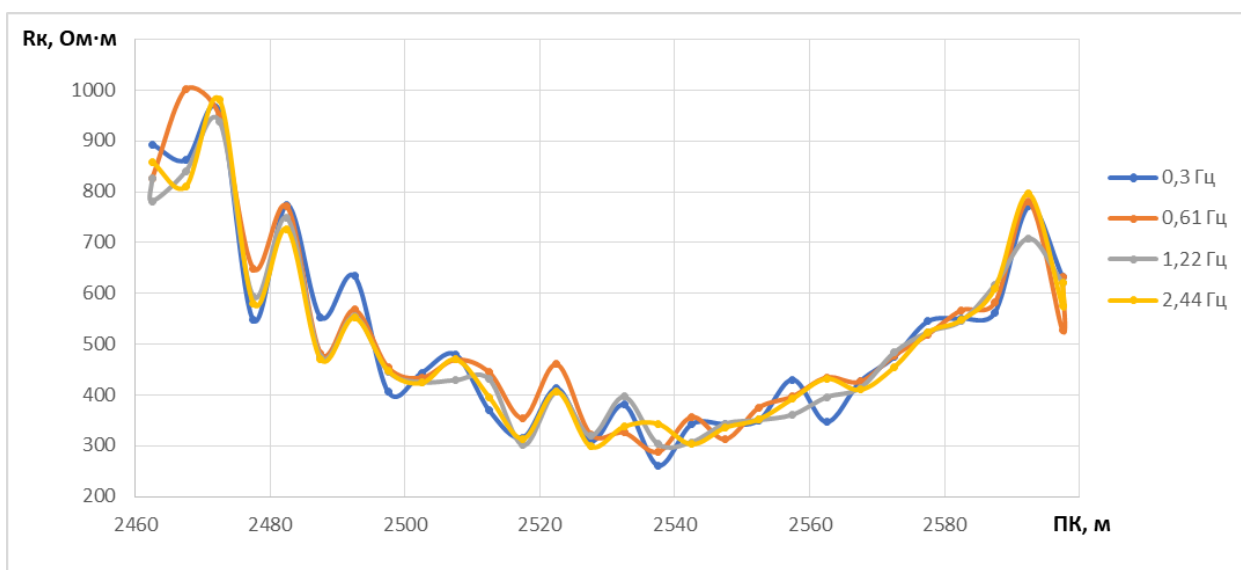


Рис. 4.2.3.6. Графики значений удельного электрического сопротивления на частотах 0.3 Гц, 0.61 Гц, 1.22 Гц, 2.44 Гц по профилю 4930.

Контроль

Согласно требованиям инструкции по электроразведке на участках работ проводился независимый контроль в размере не менее 5% от общего объема измерений [11].

Точность измерений на отдельной точке оценивается по средней относительной погрешности. Средняя относительная погрешность съемки на участке работ вычисляется как среднее арифметическое из погрешностей измерений на отдельных точках. Относительные погрешности для поляризуемости и УЭС на каждой точке измерений рассчитаны по формуле 4.2.3.1 [11]:

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{cp}|}{|x_{cp}|}, \quad (4.2.3.1)$$

где δ – относительная погрешность;

x_i – измеренное значение наблюдаемой величины;

x_{cp} – среднее арифметическое измеренных значений;

n – число измерений на точке.

Погрешность съемки на участке не должна превышать 5% для измерений η_k , 2.5% - для ρ_k .

Объем контрольных измерений составил 355 точек наблюдения (9 точек зондирования), что составило 6,5% от общего объема измерений.

Погрешность измерений на участке составила: для η_k – 4.9 %, для ρ_k – 2.47 %.

Встречаются единичные высокие значения относительной погрешности по поляризуемости. Они связаны с низким уровнем сигнала до 1-2 мВ. При таком напряжении даже небольшое отклонение, например, 0,2 мВ, дает большую погрешность 20%.

Ниже представлены графики контрольных и основных измерений по профилю 800 для разных положений питающего электрода А (рис.4.2.3.7).

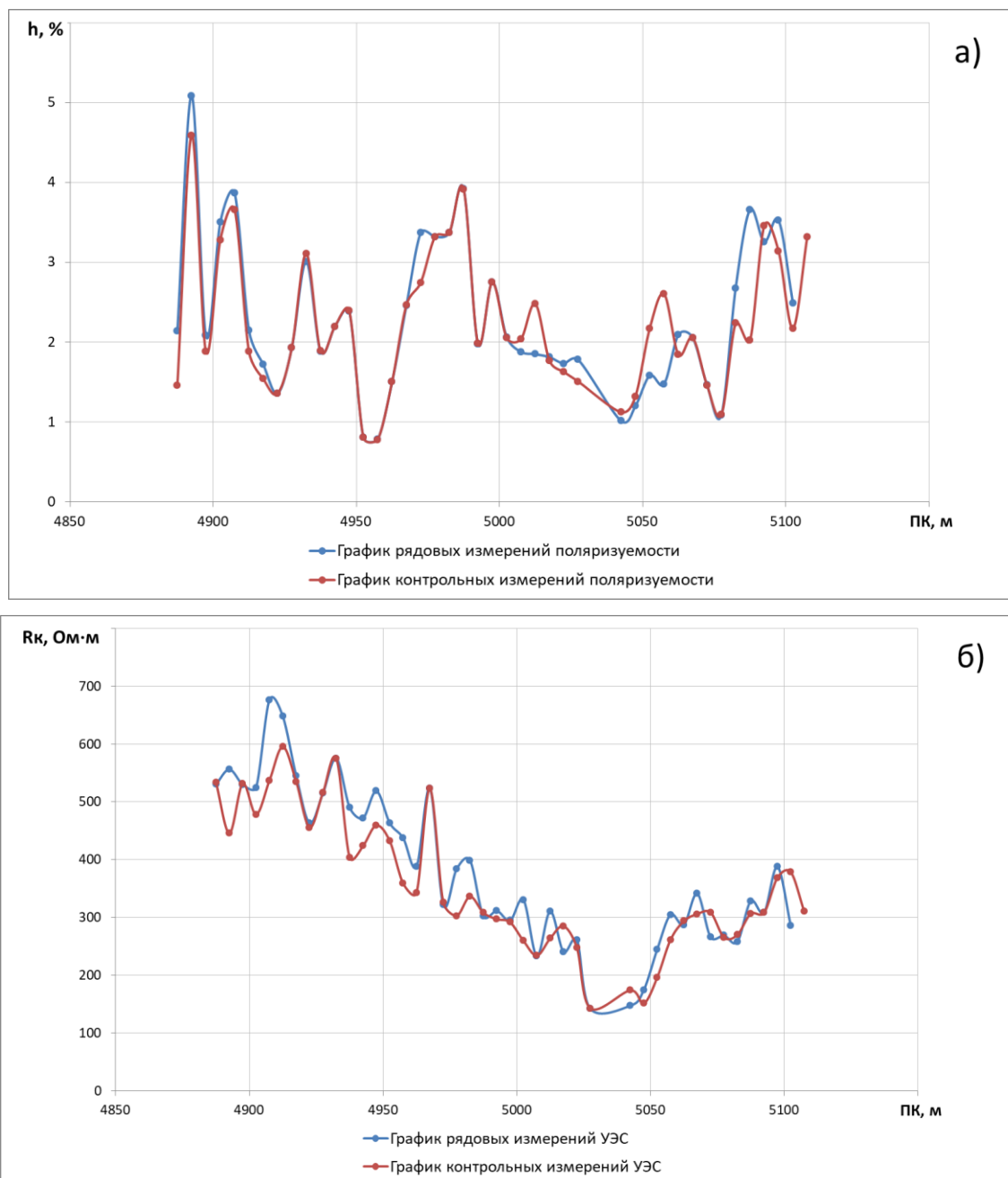


Рис. 4.2.3.7. Графики рядовых и контрольных измерений: а) поляризуемости; б) сопротивления по профилю 800, прА_600, пкА_800

4.2.3.2 Методика обработки данных

Первичная обработка

Первичная обработка данных производилась в три этапа.

На первом этапе обработки осуществляется импорт данных с измерителя в программу "B2_Reader" и создается файл в формате ".xls". Для сохранности данных исходный файл не подлежит редактированию, все изменения проводятся с его копией. При редактировании базы особое внимание уделяется значениям трех первых гармоник и

поляризуемости – первые три нечетные гармоники должны иметь схожие значения, а поляризуемость иметь значения выше нуля, но также и не принимать абсурдные значения. Все измерения, не удовлетворяющие данным требованиям, заменяются пустым множеством. По результатам первого этапа создается общая база всех измерений по участку.

На втором этапе рассчитывается коэффициент установки и кажущееся удельное электрическое сопротивление для каждой точки измерения. Кажущееся удельное электрическое сопротивление (ρ_k) вычислялось по формуле (4.2.3.2).

$$\rho_k = \frac{U_{пр}}{I_{ab}} \cdot \frac{2\pi}{\left| \left(\frac{1}{am} - \frac{1}{bm} \right) - \left(\frac{1}{an} - \frac{1}{bn} \right) \right|}, \quad (4.2.3.2)$$

где $U_{пр}$ – измеряемое напряжение в приемной линии; I_{ab} – сила тока в питающей линии;

$$am = \sqrt{(PrMN - PrA)^2 + (PkM - PkA)^2}, \quad (4.2.3.3)$$

$$an = \sqrt{(PrMN - PrA)^2 + (PkN - PkA)^2}, \quad (4.2.3.4)$$

$$bm = \sqrt{(PrMN - PrB)^2 + (PkM - PkB)^2}, \quad (4.2.3.5)$$

$$bn = \sqrt{(PrMN - PrB)^2 + (PkN - PkB)^2}, \quad (4.2.3.6)$$

На третьем этапе формируются итоговые таблицы, содержащие в себе данные для каждого отдельного профиля измерений, для последующей инверсии в программе ZondRes2D.

2D Инверсия

Обработка данных электротомографии выполнялась в программе ZondRes2D v.6, которая на основе итерационного решения обратной задачи позволяет восстанавливать разрезы распределения УЭС и поляризуемости (рис. 4.2.3.8).

Решение обратной задачи выполнялось по алгоритму Оккам инверсии методом наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной минимизацией контрастности. Стартовые параметры среды составили $\eta = 2\%$, $\rho = 900$ Ом·м. Мощность первого слоя 1.8 м, число слоев составило 20, инкремент был выбран 1.05.

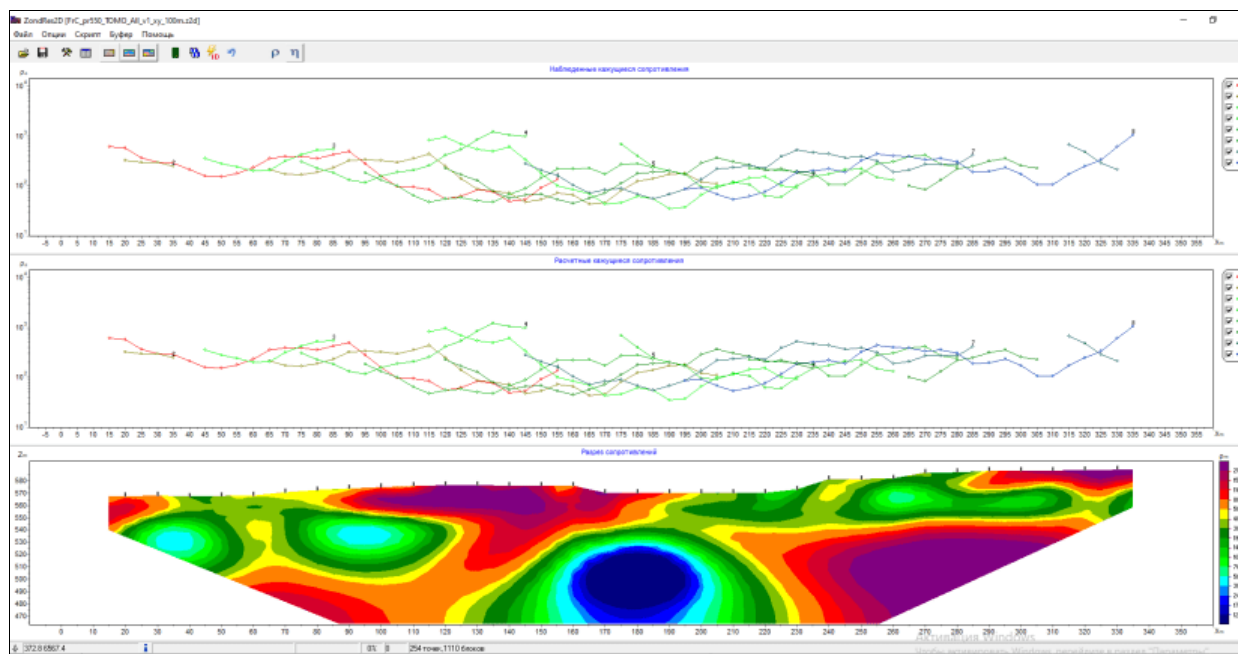


Рис. 4.2.3.8. Пример рабочего пространства программы ZondRes2D

4.3 Геологические работы

Для геологического обеспечения полевых геофизических работ был выполнен ограниченный объем геологических исследований. Всего было проведено 13 геологических маршрутов различной протяженности.

Маршруты выполнялись преимущественно по обнажениям коренных пород в пределах перспективной площади №1 (10 маршрутов).

Кроме того, было выполнено по 1 маршруту в пределах перспективных площадей № 2 и 3 и 1 маршрут на месторождение Фаранамбу за пределами лицензии.

По 14 маршрутам, помимо геологических наблюдений, выполнялись спектрометрические исследования.

Всего было задокументировано 31 точка наблюдений (рис. 4.3.1).

Помимо этого, была выполнена 7-дневная рекогносцировочная поездка на два участка на юге острова (3 точки наблюдения).

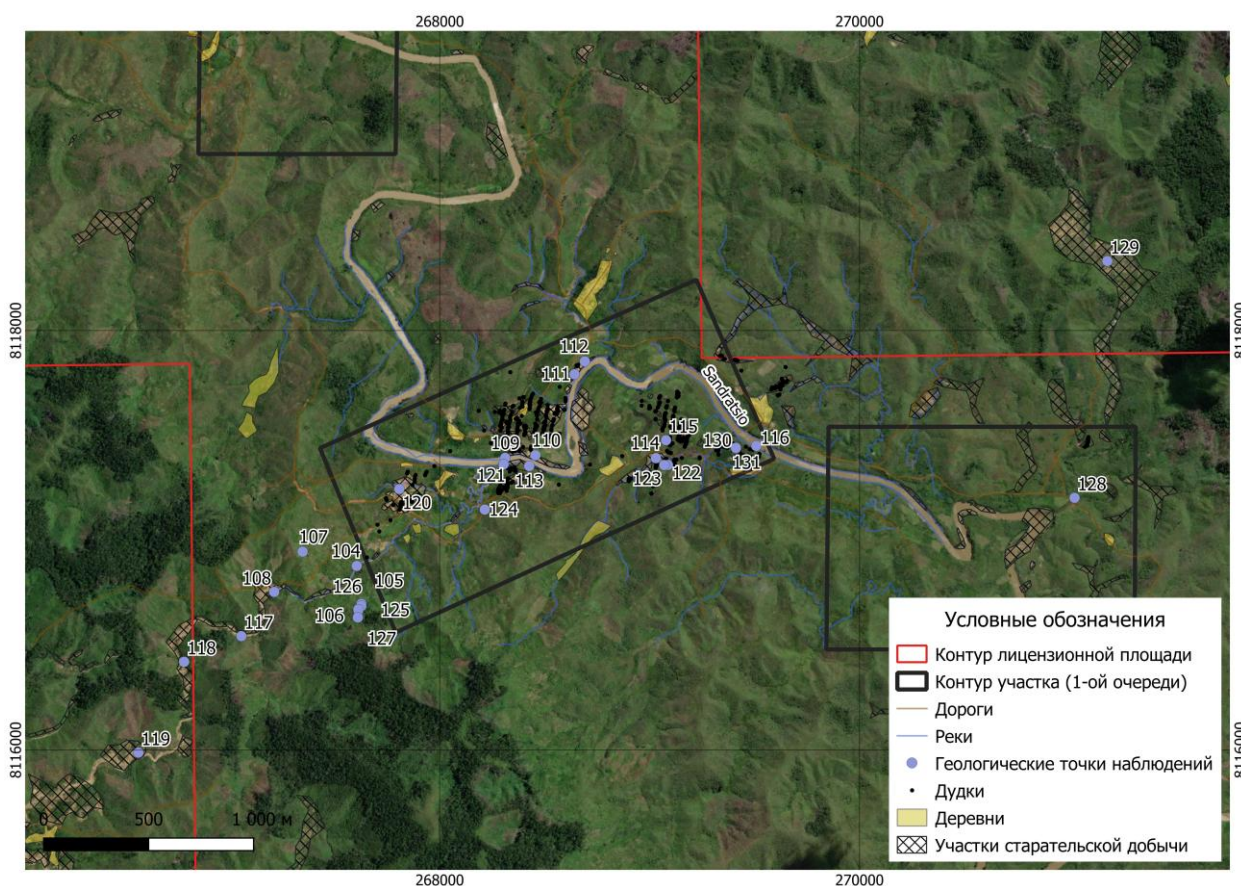


Рис. 4.3.1. Карта фактического материала по геологическим наблюдениям

5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

5.1 Магниторазведка

В результате выполнения магниторазведочных работ было пройдено 32,5 пог.км.

По результатам работ построена карта измеренного магнитного поля (МП) с учетом вариаций (рис.5.1.1)

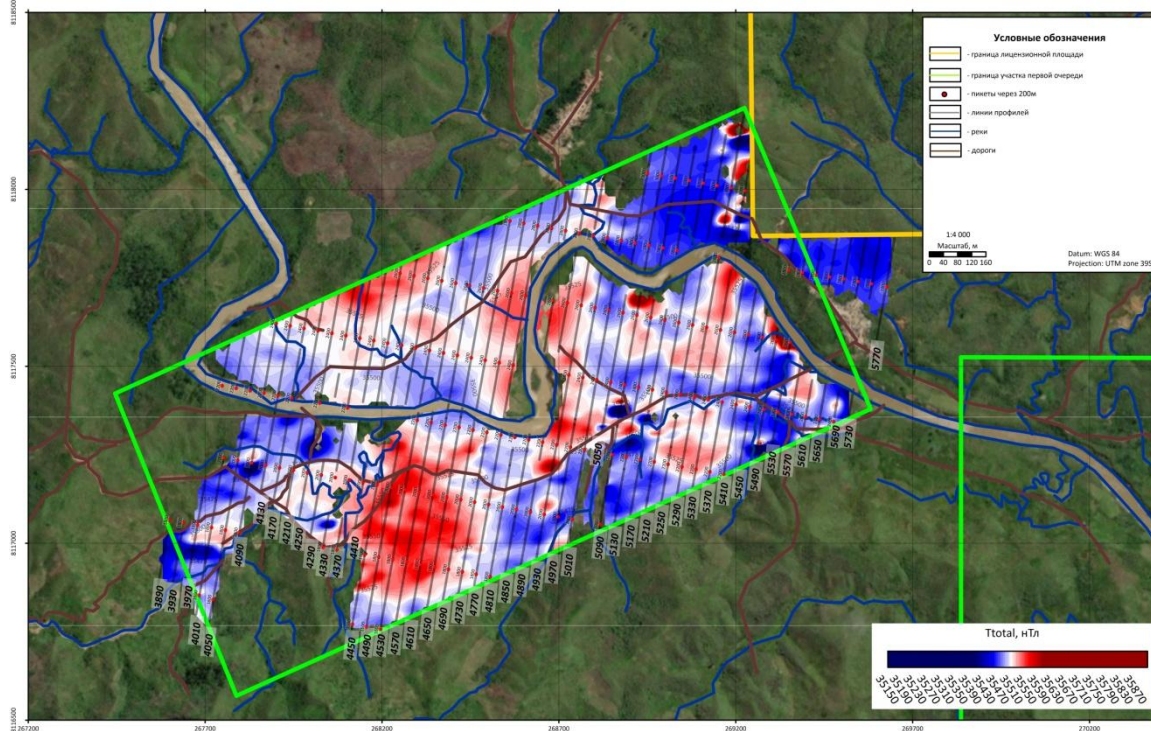


Рис. 5.1.1. Карта изолиний измеренного магнитного поля

Для наиболее точной аппроксимации значений при построении исходной карты используется статистическая оценка данных и построение вариограммы (рис.5.1.2).

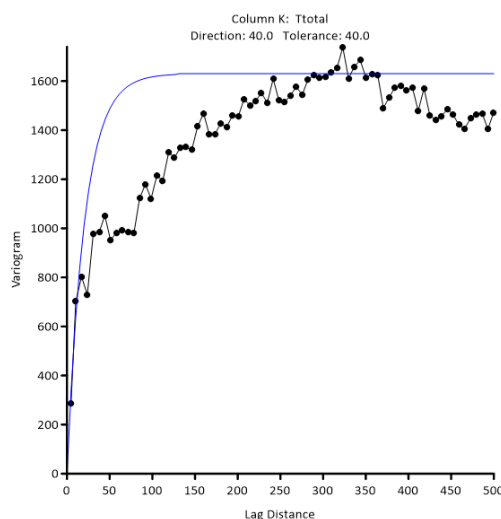


Рис. 5.1.2. Вариограмма для данных магниторазведки. Черный график – график зависимости распределения случайных величин от расстояния. Синий – построенная модель.

В таблице 7 приведены статистические характеристики измеренных данных с учетом поправок.

Таблица 7. Статистические характеристики измеренных данных с учетом поправок

Характеристика	Z
25%-tile (Первый квантиль):	35481.43
Median (Медиана):	35500.82
75%-tile (третий квантиль):	35519.06
Межквартильный размах:	37.63205
Minimum (минимальное значение):	33777.63
Maximum (максимальное значение):	36267.6
Mean (среднее):	35500.53
Variance (дисперсия):	2267.458
Standard Deviation (стандартное отклонение):	47.61783
Skewness (асимметрия):	-6.57785
Kurtosis (Эксцесс):	283.0901

Судя по характеристикам можно сказать, что участок почти в равной степени характеризуется как отрицательным, так и положительным полем (медиана и среднее почти равны, небольшой коэффициент асимметрии). Несмотря на довольно обширный размах в значениях (2 490 нТл), наиболее частые значения разбросаны в диапазоне 37.6 нТл.

До начала интерпретации необходимо из измеренного поля (с введенной поправкой за вариацию) исключить местный градиент. Это осуществлялось при помощи трансформации Гаусса.

На рис.5.1.3 показана карта изолиний локального магнитного поля (трансформация Гаусса), на рис.5.1.4 показана карта графиков локального магнитного поля.

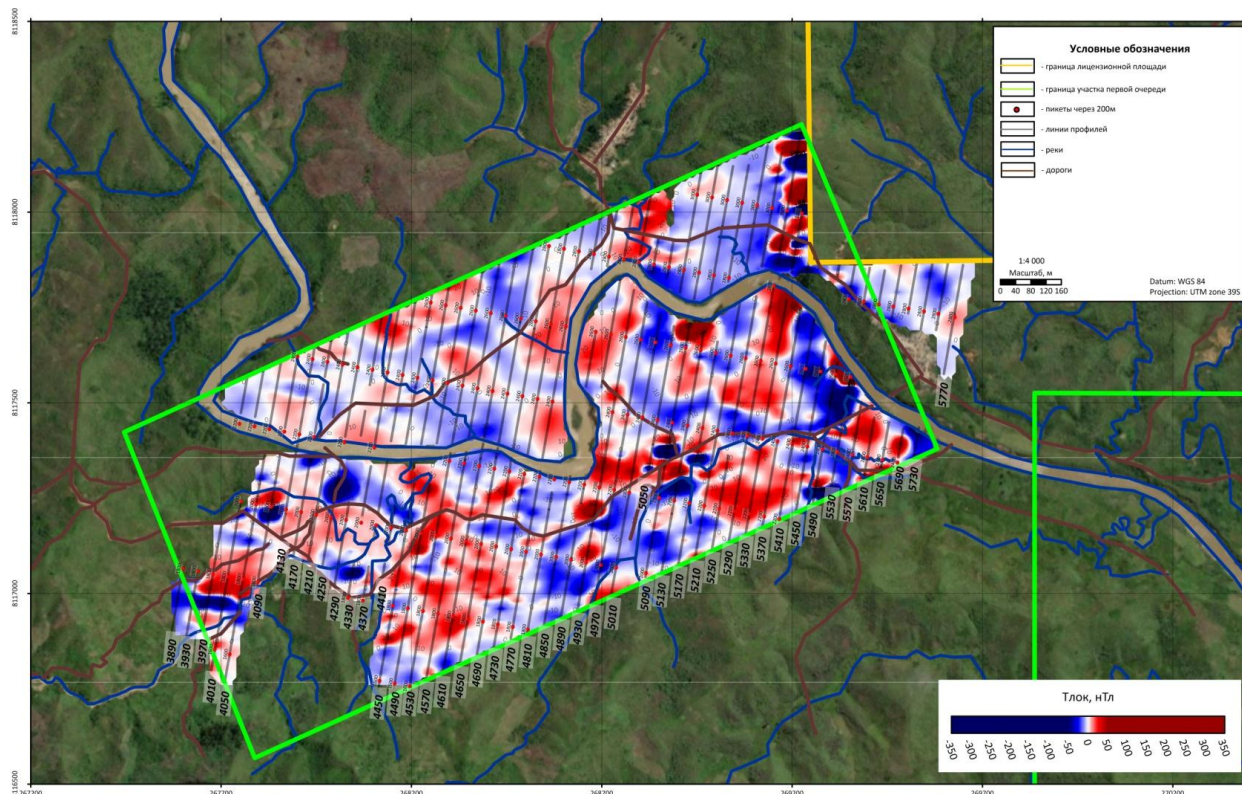


Рис. 5.1.3. Карта изолиний локального магнитного поля

Значения магнитных аномалий на участке изменяются от -315.2нТл до 343.5нТл.

Преимущественно, поле спокойное, однородное. Исключение – ПР5290-5330 (северная часть) – там поле осложнено высокоамплитудными локальными аномалиями. Локальные неоднородности поля наблюдаются также вблизи выработок и деревень.

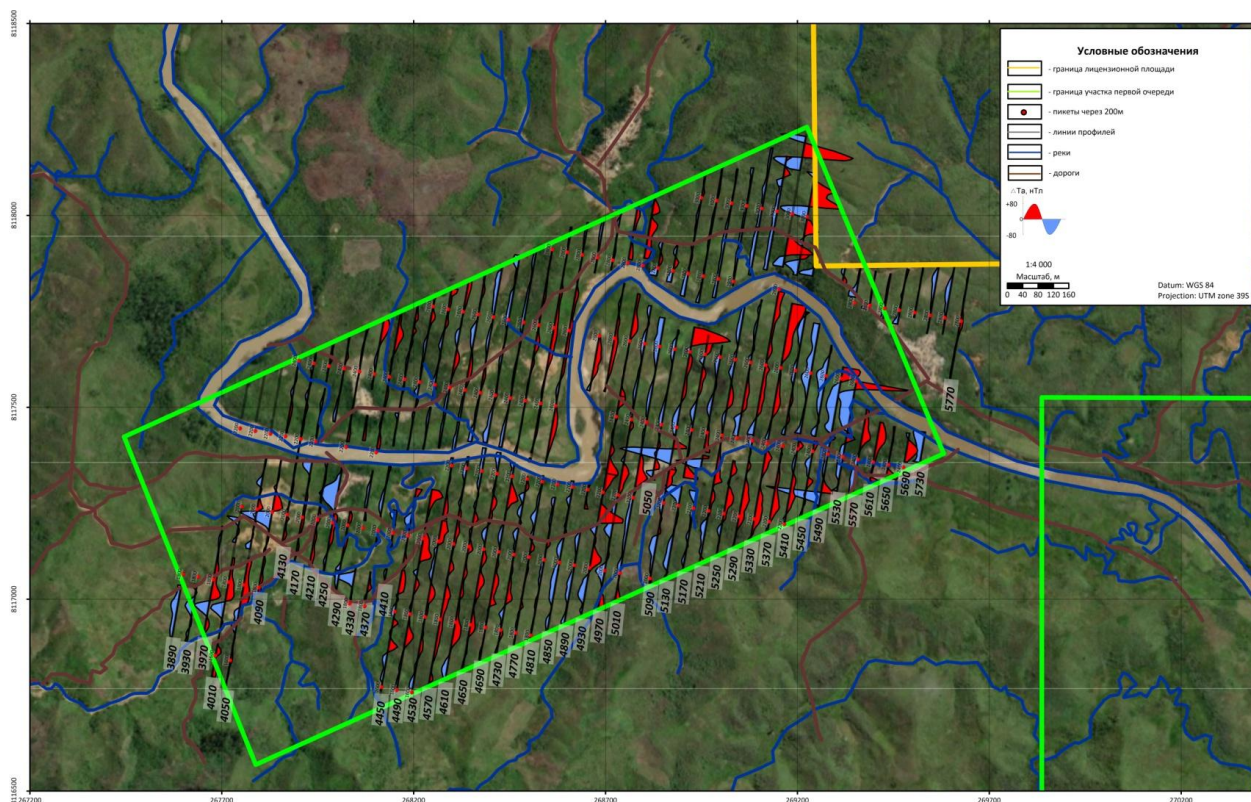


Рис. 5.1.4. Карта графиков локального магнитного поля

Изначально выполнение магниторазведочных работ предполагалось только в пределах террас, но для более полноценной картины и оценки вклада коренных пород в магнитный отклик необходимо было расширить рассматриваемый участок. Так, в результате магниторазведочных работ был практически полностью заснят участок первой очереди (местами с выходом за его пределы).

Съемка за пределами участка проводилась для более широкого анализа влияния отвалов на магнитное поле (рис.5.1.5).



Рис. 5.1.5. Фрагмент карты фактических точек измерения и старые выработки старателей (розовый цвет)

На участке выделяется три тренда распределения аномалообразующих структур:

Первый тренд – северо-северо-восточный. Аномалии данного тренда направления широко распространены в восточной части участка (рис.5.1.6).

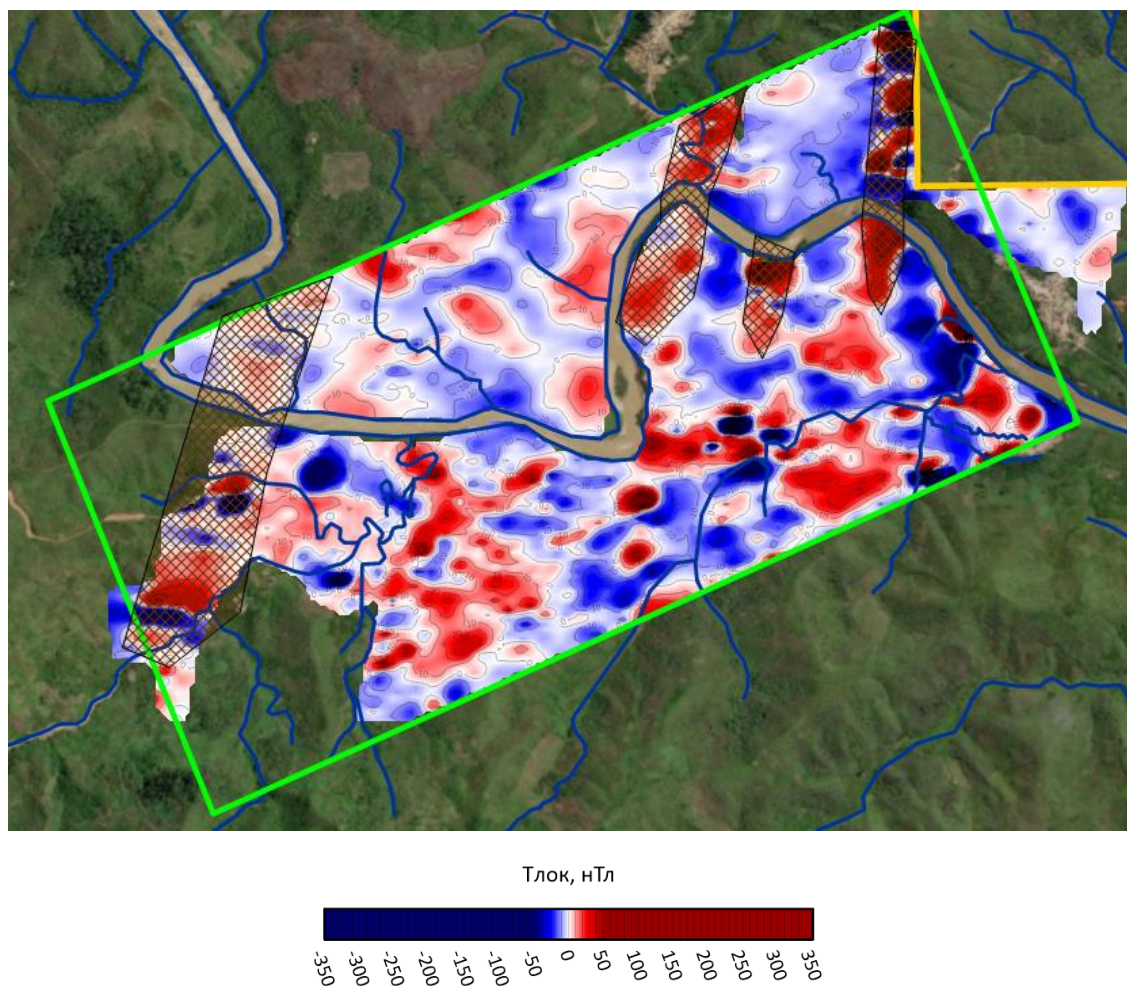


Рис. 5.1.6. Фрагмент карты локальной составляющей МП. Аномалии северо-восточного направления на исследуемом участке

Отчетливо выделяются четыре субпараллельные структуры. Оси трех структур, расположенных на северо-востоке, пространственно совпадают с областями резкого перегиба реки Sandratsio. Вероятнее всего, повышенные значения МП в этих областях связаны с тектоническими дислокациями коренных горных пород.

Второй тренд – северо-западный (рис.5.1.7).

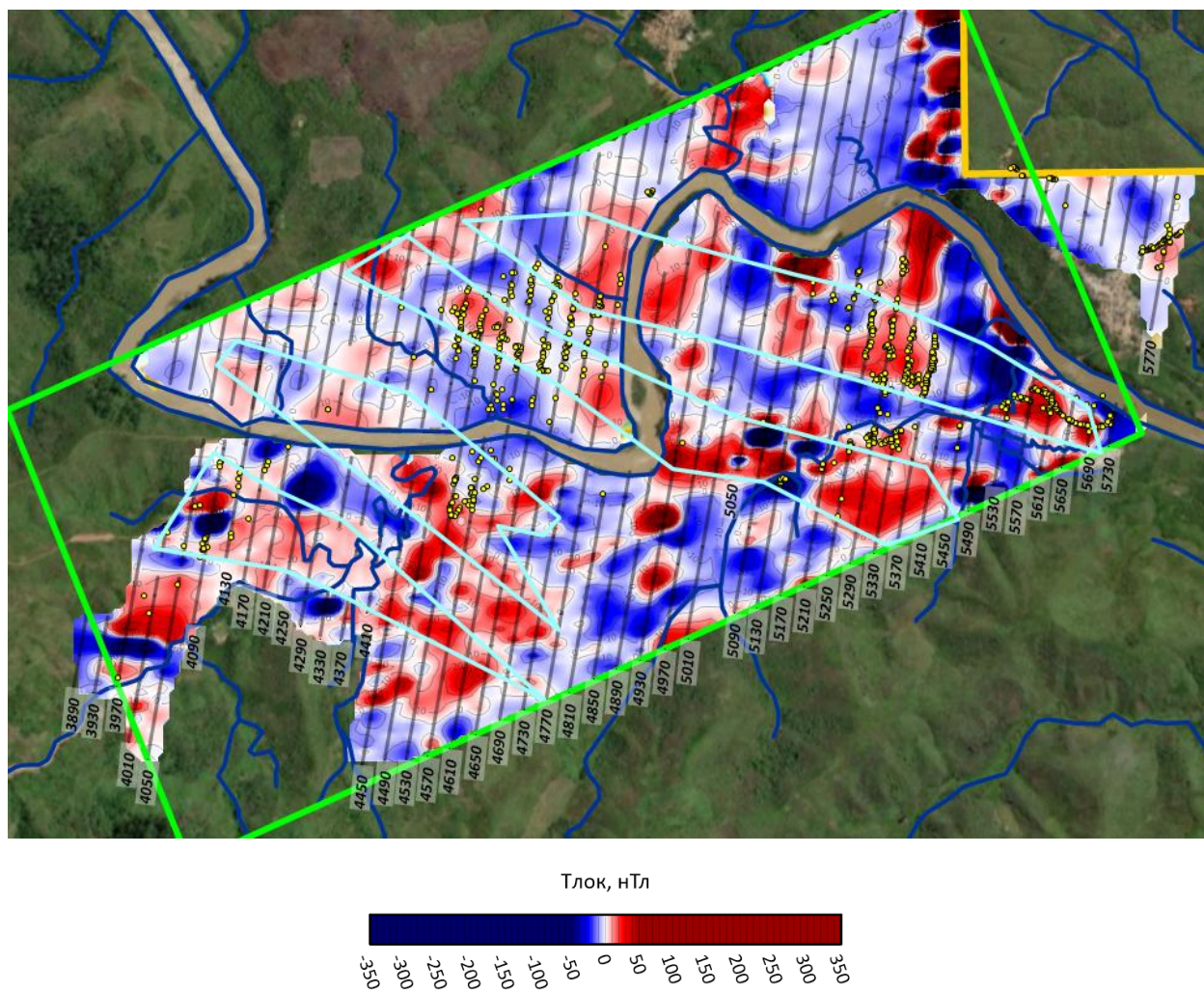


Рис. 5.1.7. Фрагмент карты изолиний локального МП. Аномальные структуры, отличающиеся повышенным МП северо-западного направления

С этими аномалиями связаны наиболее перспективные участки на обнаружение корундовых россыпей. Это предположение подтверждается и тем, что большинство областей, отработанных старателями, приходятся на эти аномалии.

Третий тренд – субширотные аномалии (рис.5.1.8).

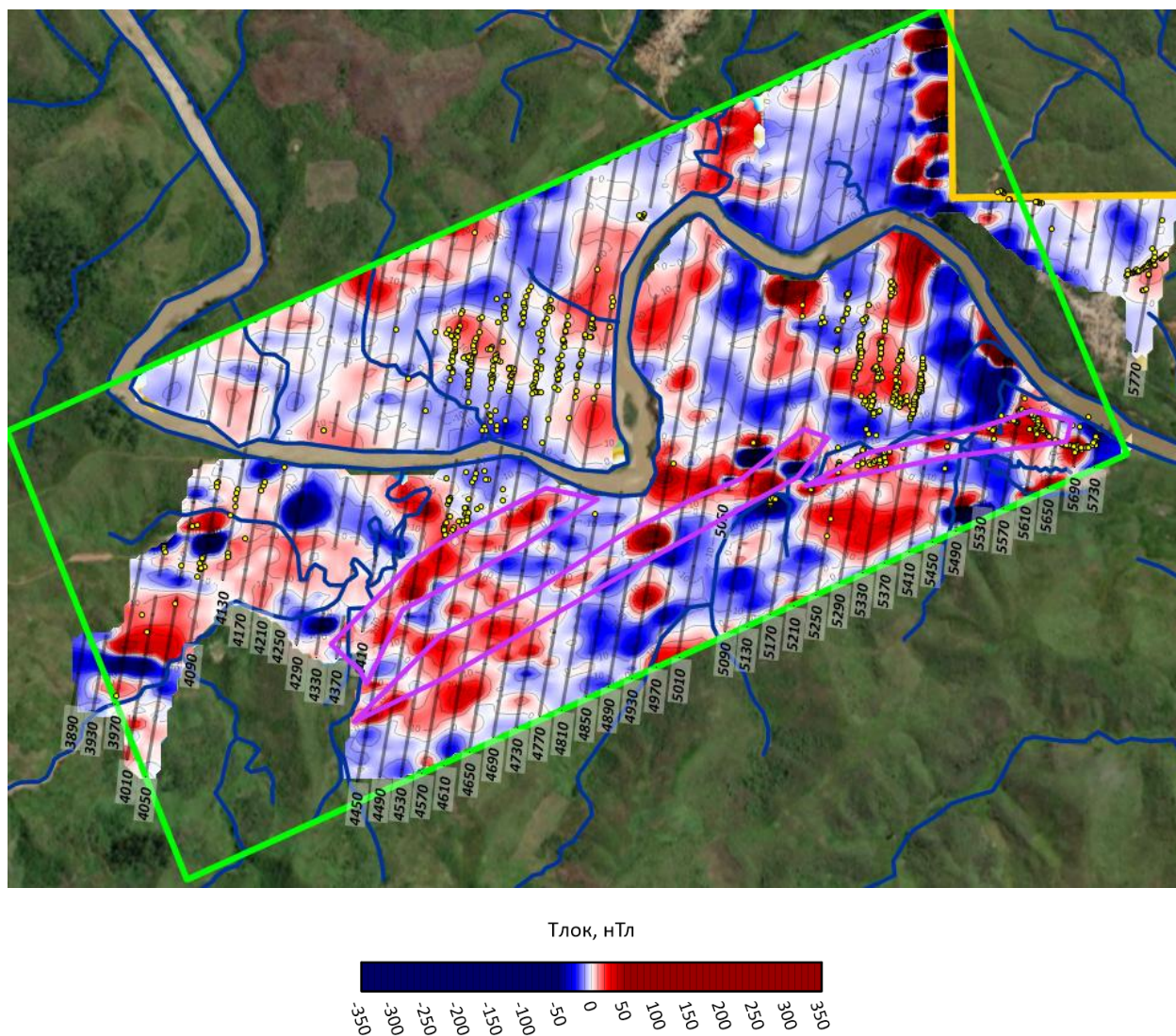


Рис. 5.1.8. Фрагмент карты изолиний локального МП. Области распространения субширотных аномалий МП

Этот тип аномалий широко распространен на правом побережье реки Sandratsio.

Также, на участке была рассчитана трансформация «Аналитический сигнал». Она используется для исключения влияния направления намагничивания, из-за которого происходит смещение аномалий МП от его источника (рис.5.1.9). Данная карта в дальнейшей интерпретации будет использоваться как опорная.

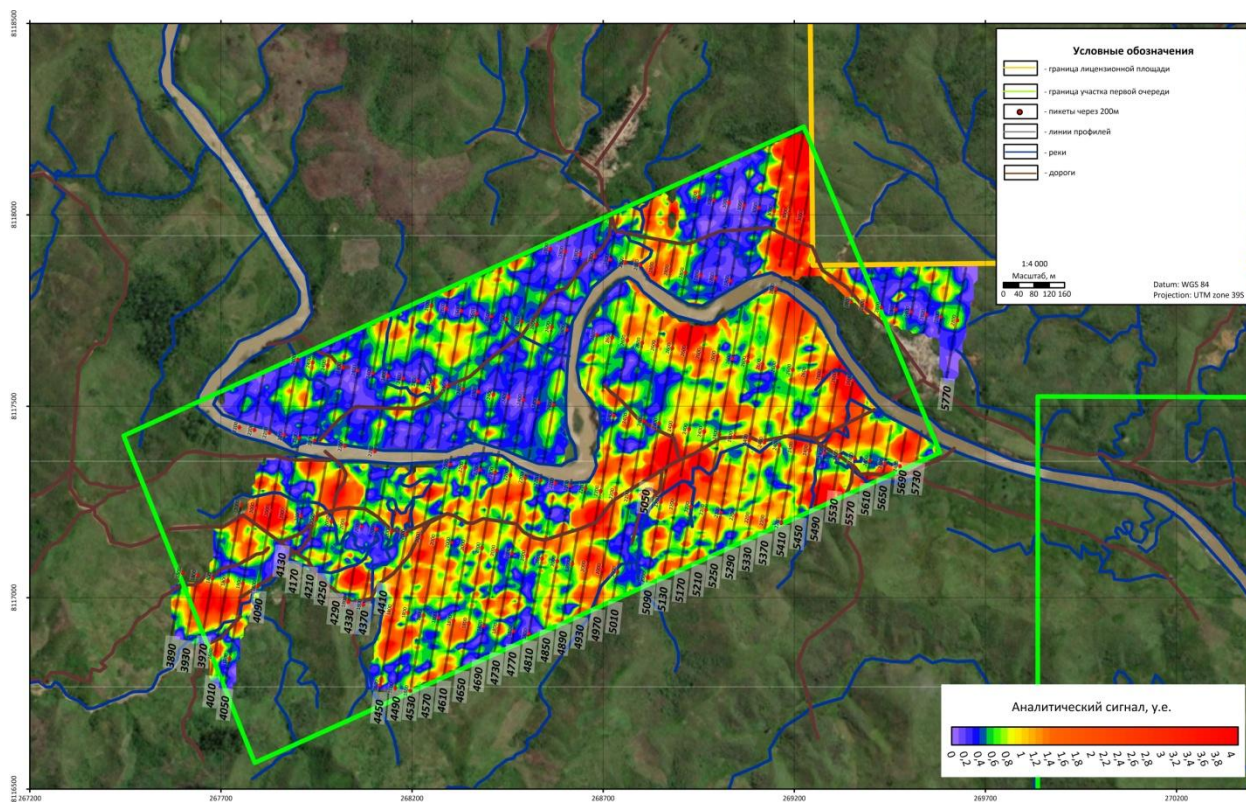


Рис. 5.1.9. Карта изолиний аналитического сигнала

Для более детального анализа формы и направления распространения магнитных структур рассчитываются трансформации – горизонтальный градиент и тилт-трансформация (рис.5.1.10, рис.5.1.11).

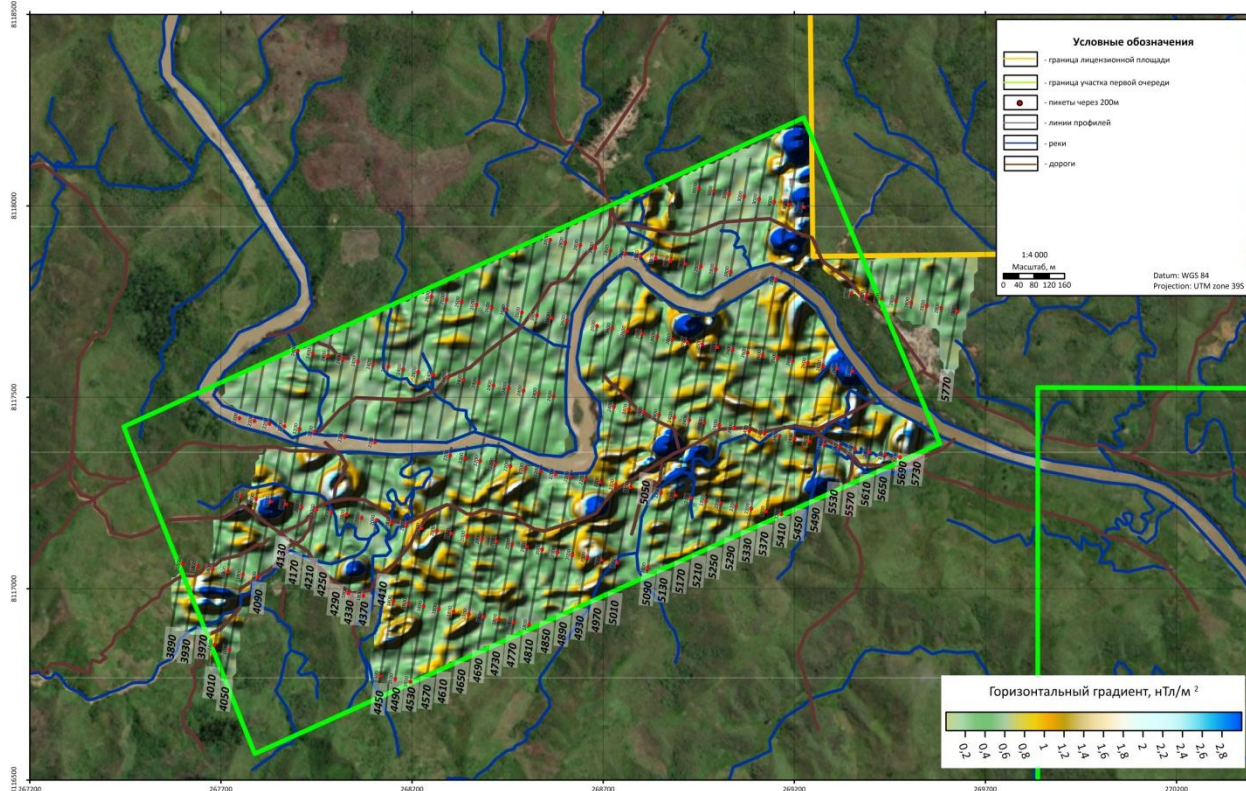


Рис. 5.1.10. Карта изолиний трансформации горизонтальный градиент

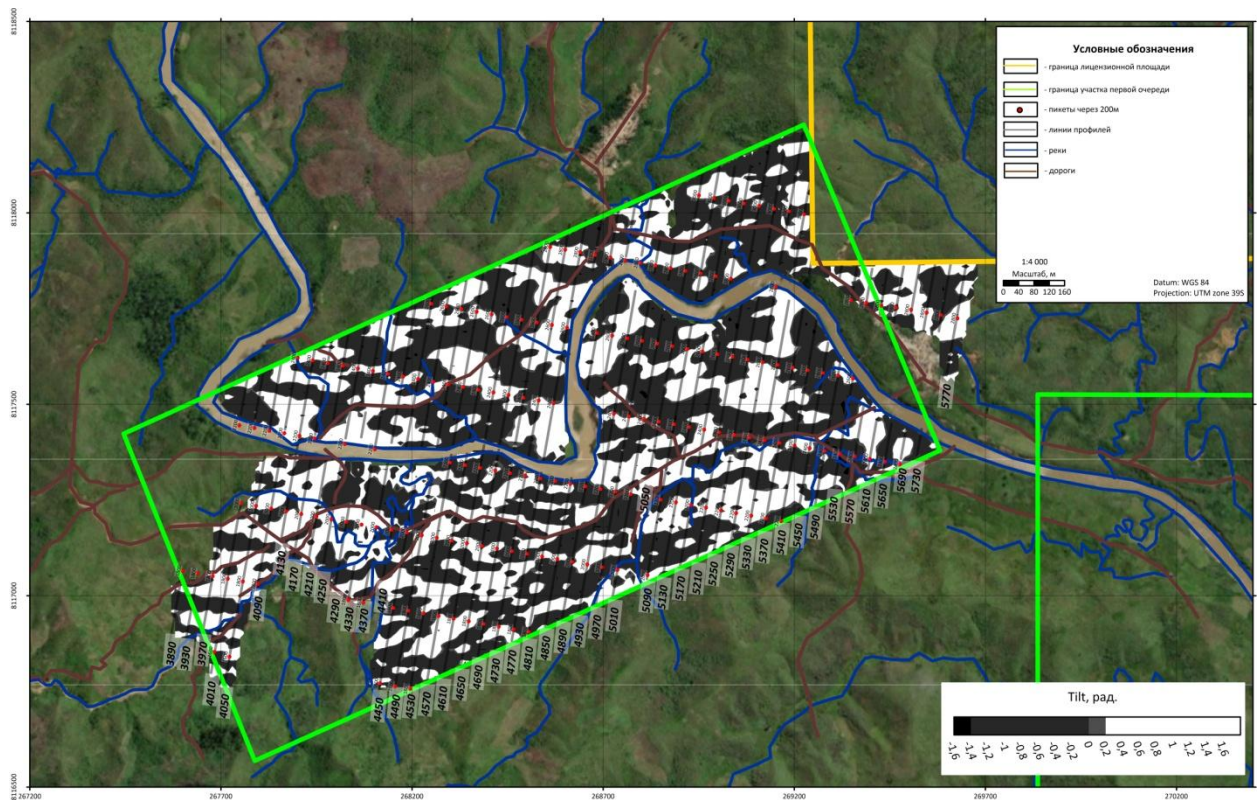


Рис. 5.1.11. Карта изолиний тилт-трансформации

Данные трансформации помогают детально проследить изменения поля в пространстве, по результатам отрисовываются линеаментные структуры магнитного поля (рис.5.1.12).

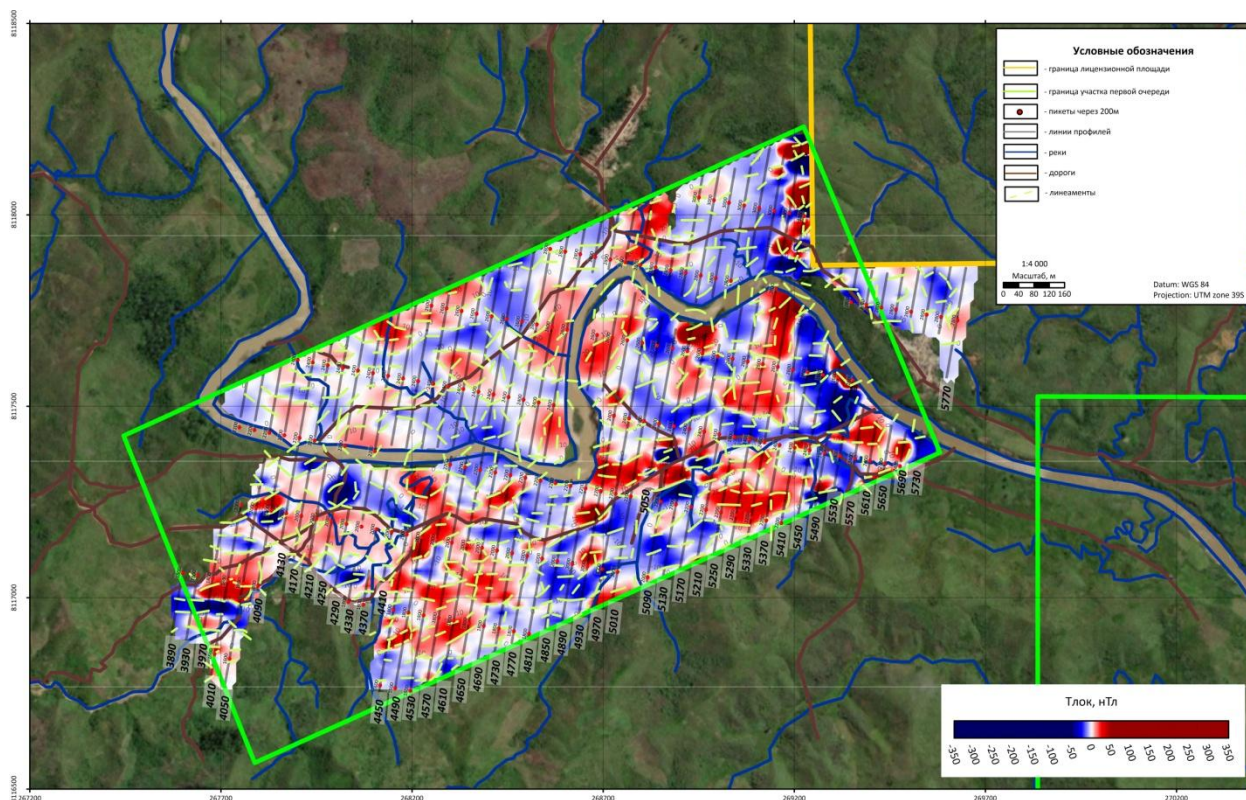


Рис. 5.1.12. Карта изолиний локальной составляющей МП, с отрисованными линеаментными структурами

По результатам отрисовки, строится роза направленностей (рис.5.1.13).

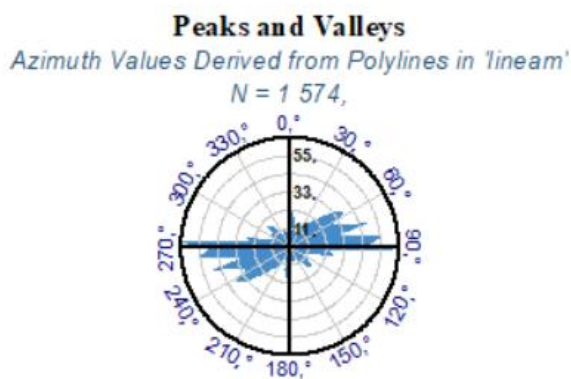


Рис. 5.1.13. Роза направленностей. Основной азимут структур – 80° , так же широко распространены азимуты 75° и 60° , секущее направление имеет азимут – 330° . На площади выделено 1574 штриха (линеамента)

Основной тренд (северо северо-восточный), который отчетливо проглядывается на карте локальных аномалий МП, плохо отражается на представленной диаграмме. Важно понимать, что длина радиуса на розе направленностей отражает частоту встречаемости

штриха. Меньшую встречаемость данного направления можно связать с более молодым возрастом данных структур относительно субширотных, ввиду меньшей дислоцированности первого относительно второго.

Некоторые аномалии довольно хорошо коррелируют с рельефными особенностями (рис.5.1.14).

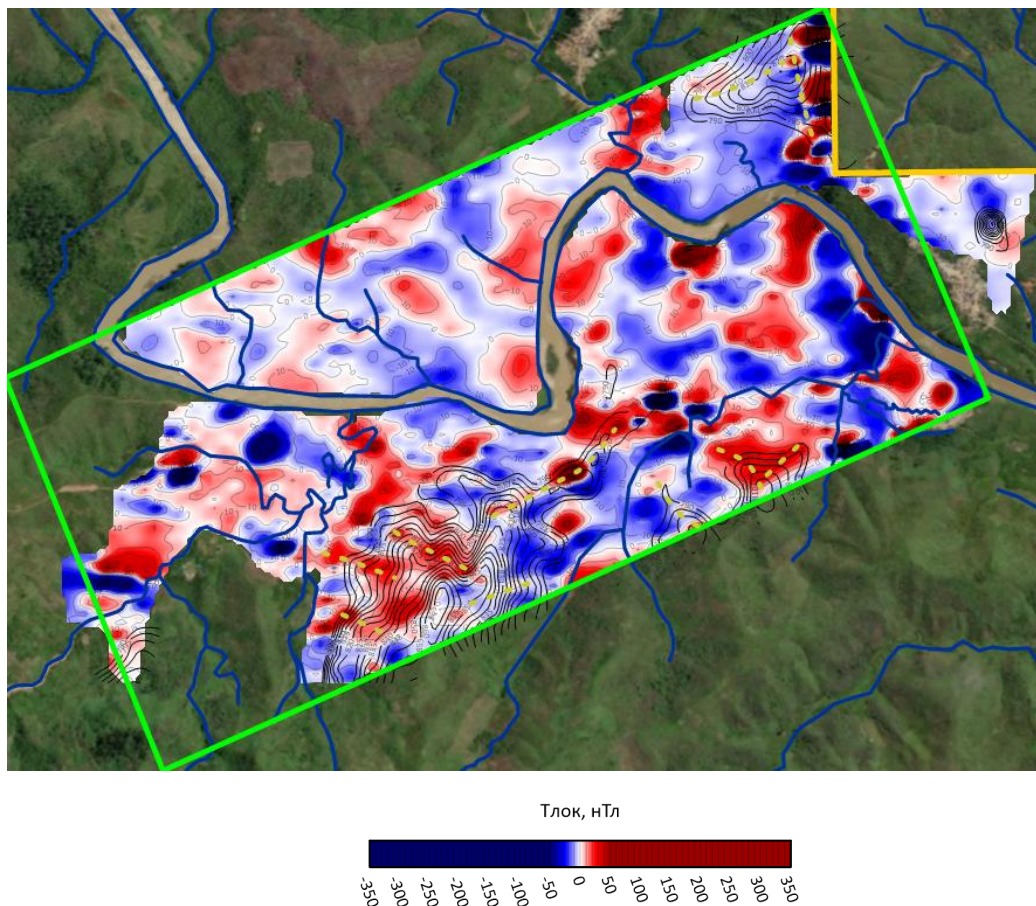


Рис. 5.1.14. Фрагмент карты изолиний локального МП и изолинии рельефа от 790м. Светло-зеленым цветом показаны оси локальных совпадений изоформ рельефа и магнитных аномалий

Для выяснения необходимости проведения отдельной декластеризации и анализа отдельных классов был проведен статистический анализ характеристик магнитного поля на высоте до 790м и после 790м [6].

Помимо разбиения по высотным характеристикам, участок было решено разбить на «левый» и «правый» по реке Sandratsio, ввиду очевидных визуальных отличий.

Изначально были построены 4 розы направленностей (рис.5.1.15).

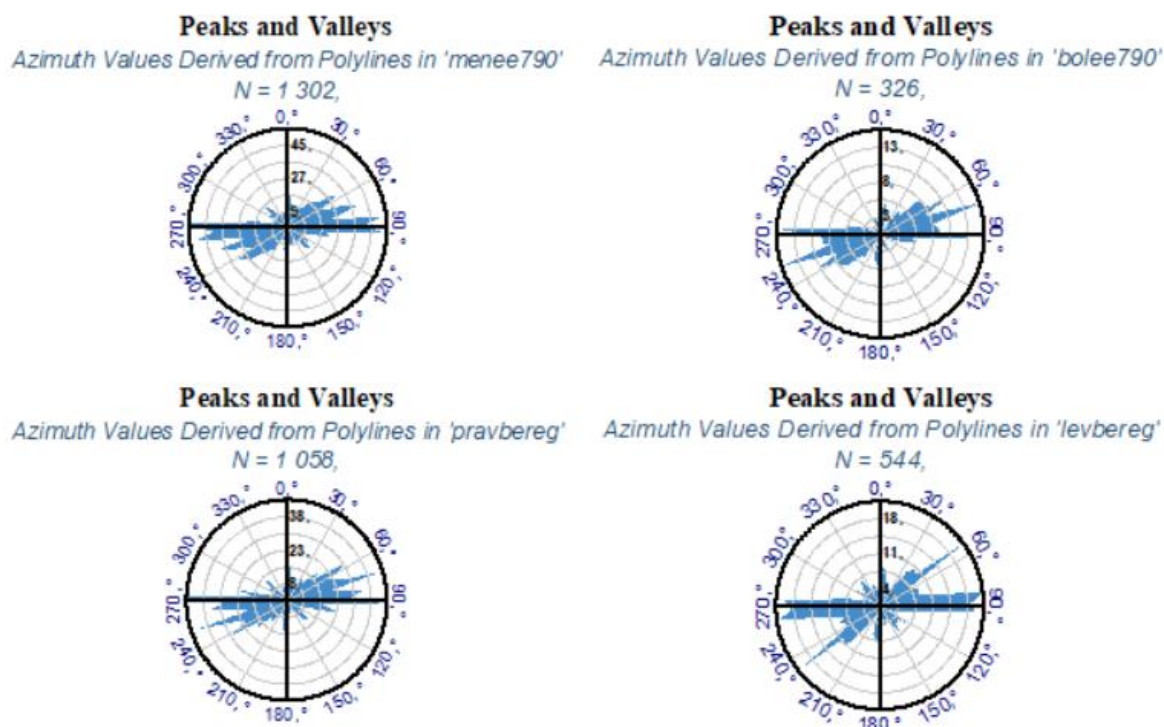


Рис. 5.1.15. (слева на право): верхний ряд разделение по высотным отметкам, нижний – по берегам

Из рис.5.1.15 видно, что в результате разбиения участка по высотным отметкам картина несколько различна. Все тренды распространения сохраняются, изменяется лишь встречаемость преобладающих направлений: На высотах менее 790м чаще встречаются линеаменты с Азимутом (в порядке убывания) 85^0 , 75^0 , 60^0 ; на высотах более 790м (в порядке убывания) – 75^0 , 60^0 , 85^0 .

Наиболее интересная картина получается при разделении участка по берегам: на правом берегу преобладает азимут 75^0 , на левом – 55^0 и 85^0 .

Помимо анализа линеаментного, было решено провести более расширенный – статистический [1].

Для этого была построена q-q (квантиль-квантиль) диаграмма (рис.5.1.16).

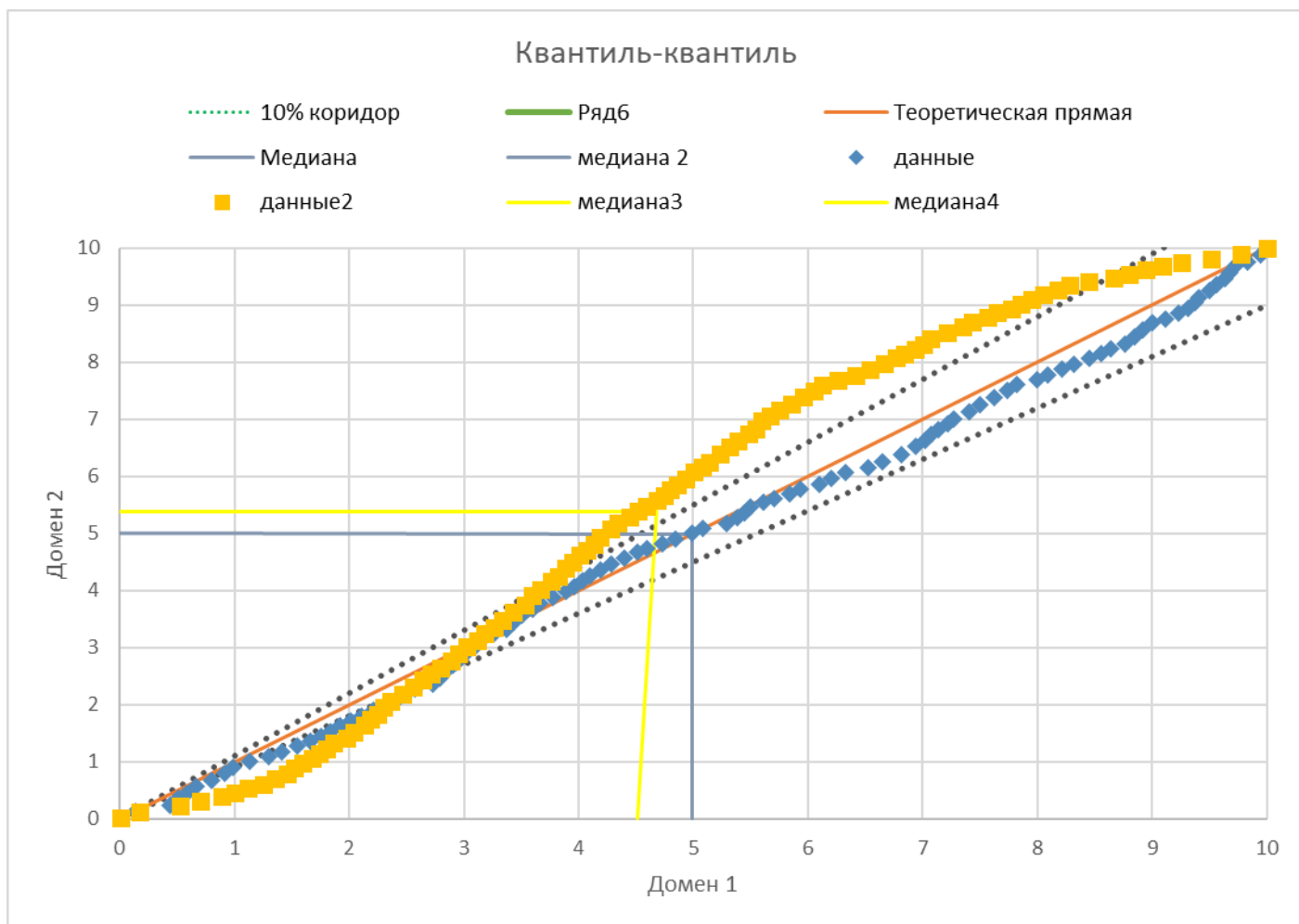


Рис. 5.1.16. Квантиль-квантиль диаграмма. Красная линия – идеальное сходство выборок, две точечные линии по обе стороны от нее ± 1 стандартное отклонение. Синие точки зависимость выборок данных на высоте от 790м (ось ординат) и до 790м (ось абсцисс). Тонкие перпендикулярные синие линии – медианы. Рыжие точки сходство выборки по правому (ось ординат) и левому берегу (ось абсцисс), желтые тонкие линии – медианы этих выборок

Исходя из графика видно, что выборки по высотам достаточно однородны и разбиения не требуют, в отличие от выборок по берегам – распределение выборки по левому берегу, вероятно, близко к нормальному, в отличие от выборки по правому берегу, которое, вероятнее всего, полимодальное.

Чтобы наверняка убедиться в различии количественных характеристик выборки по берегам были построены гистограммы распределений (рис.5.1.17) и рассчитаны основные статистические характеристики (таблица 8).

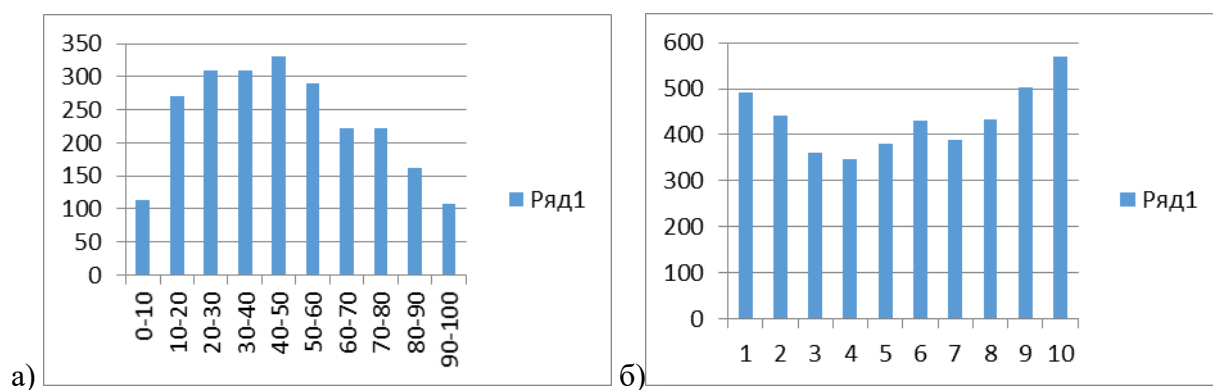


Рис. 5.1.17. Гистограмма распределения случайной величины (измеренного МП): а) на левом берегу; б) на правом берегу

Таблица 8. Статистические характеристики магнитного поля по двум берегам

	левый берег	правый берег
медиана	45.16324953	53.85355516
среднее	46.76098174	51.89159749
ст.отклонение	24.69523597	30.44052354
эксцесс	-0.900015057	-1.301354675
асимметрия	0.208102525	-0.095359086

Как и предполагалось выше, МП на левом берегу отличается однородностью, наблюдается несущественное преобладание пониженных значений МП. А МП на правом берегу отличается неоднородным строением – у графика распределения три моды, что говорит о распространенности на площади как высоких, повышенных и низких значений МП. Это может говорить о нескольких аномалообразующих источниках на площади.

В результате проведения комплексного анализа линеamentных структур и количественных характеристик магнитного поля в двух выборках (таблица 8), можно предположить, что на левом и правом побережьях реки Sandratsio геологические обстановки могут отличаться. Ввиду отсутствия геологического обнажения на левом побережье подтвердить данное предположение затруднительно.

Выводы по магниторазведке

В целом, изучаемая площадь разделяется минимум на две отличающиеся друг от друга по физическим характеристикам области – левый и правый берег реки Sandratsio.

Причем на обоих берегах встречаются секущие аномалии СВ направления, совпадающие с точками перегибов реки – скорее всего, данные аномалии связаны с тектоническими дислокациями (рис.5.1.18).

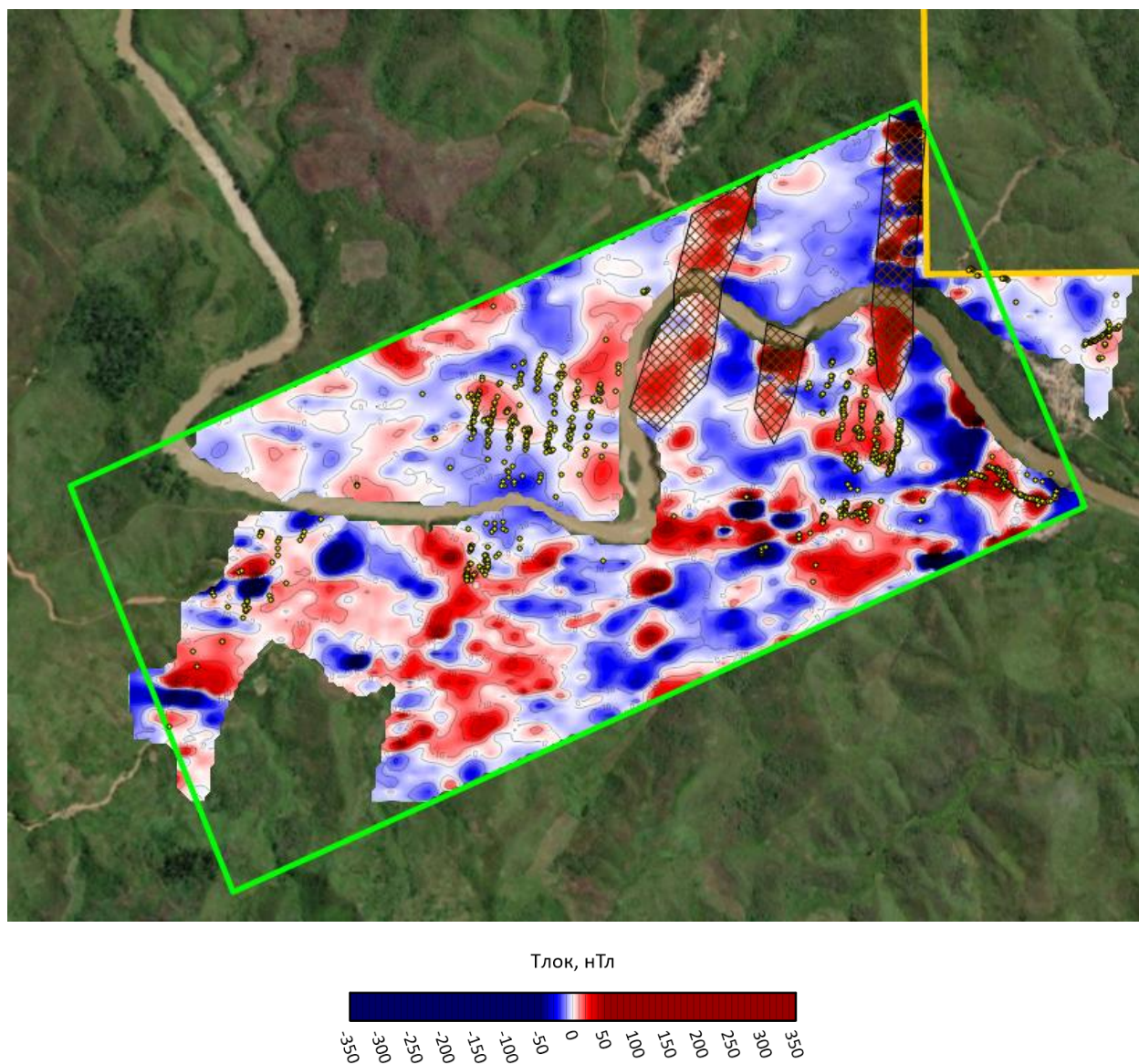


Рис. 5.1.18. Фрагмент карты изолиний локального МП. Аномалии, вероятно связанные с тектоническими дислокациями (показаны заштрихованными полигонами).

Правый берег осложнен аномалиями различной природы. По всей видимости, на правом побережье аномалии связаны:

- с коренными отложениями (совпадают с повышенными областями рельефа) (рис.5.1.19). (При поисках корундовых россыпей, данные области следует исключить из рассмотрения);

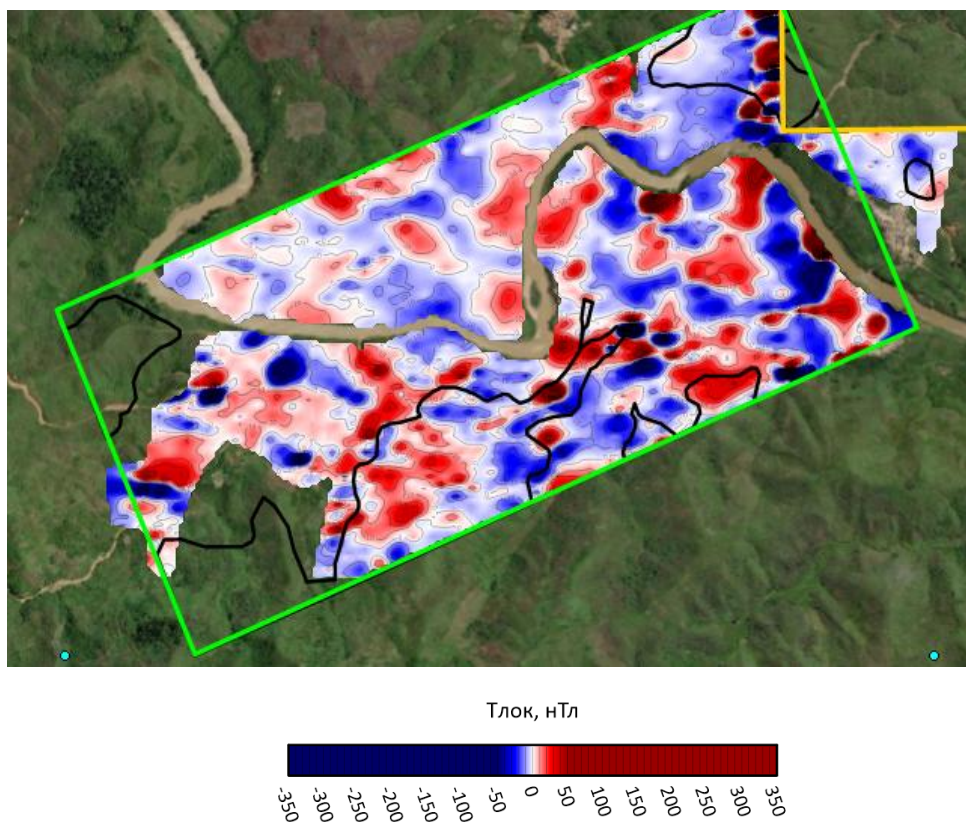


Рис. 5.1.19. Фрагмент карты изолиний локального МП. Корреляция в плане магнитных аномалий и изолинии рельефной отметки 790м

- с террасовыми и русловыми отложениями (рис.5.1.20.). Из рис.5.1.20 видно, что преимущественно все старательские выработки сконцентрированы в областях повышенного и высокоградиентного МП.

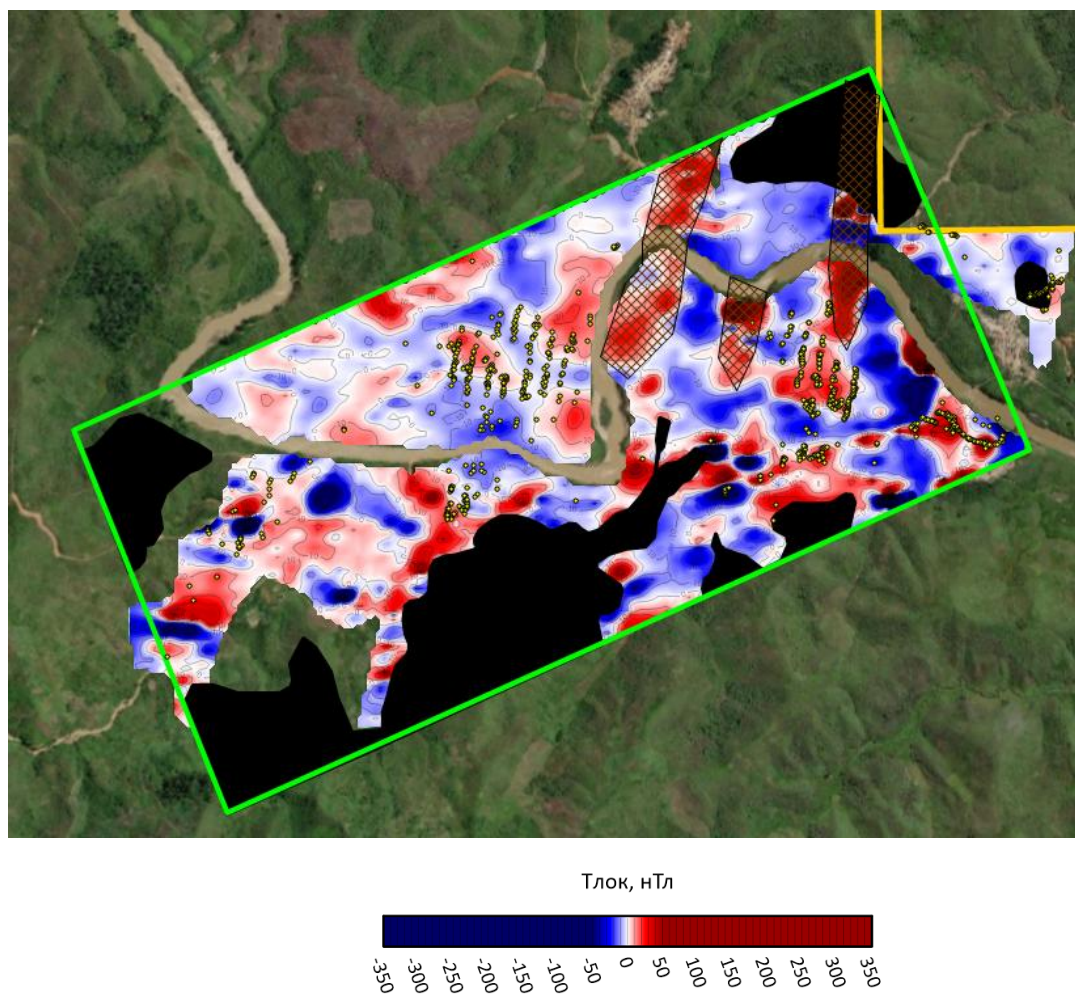


Рис. 5.1.20. Фрагмент карты изолиний локального МП. Исключение из измеренного МП областей с рельефом более 790м (черный контур)

Явный интерес представляют аномалии повышенного МП, в областях сконцентрированных старательских отработок (рис.5.1.21).

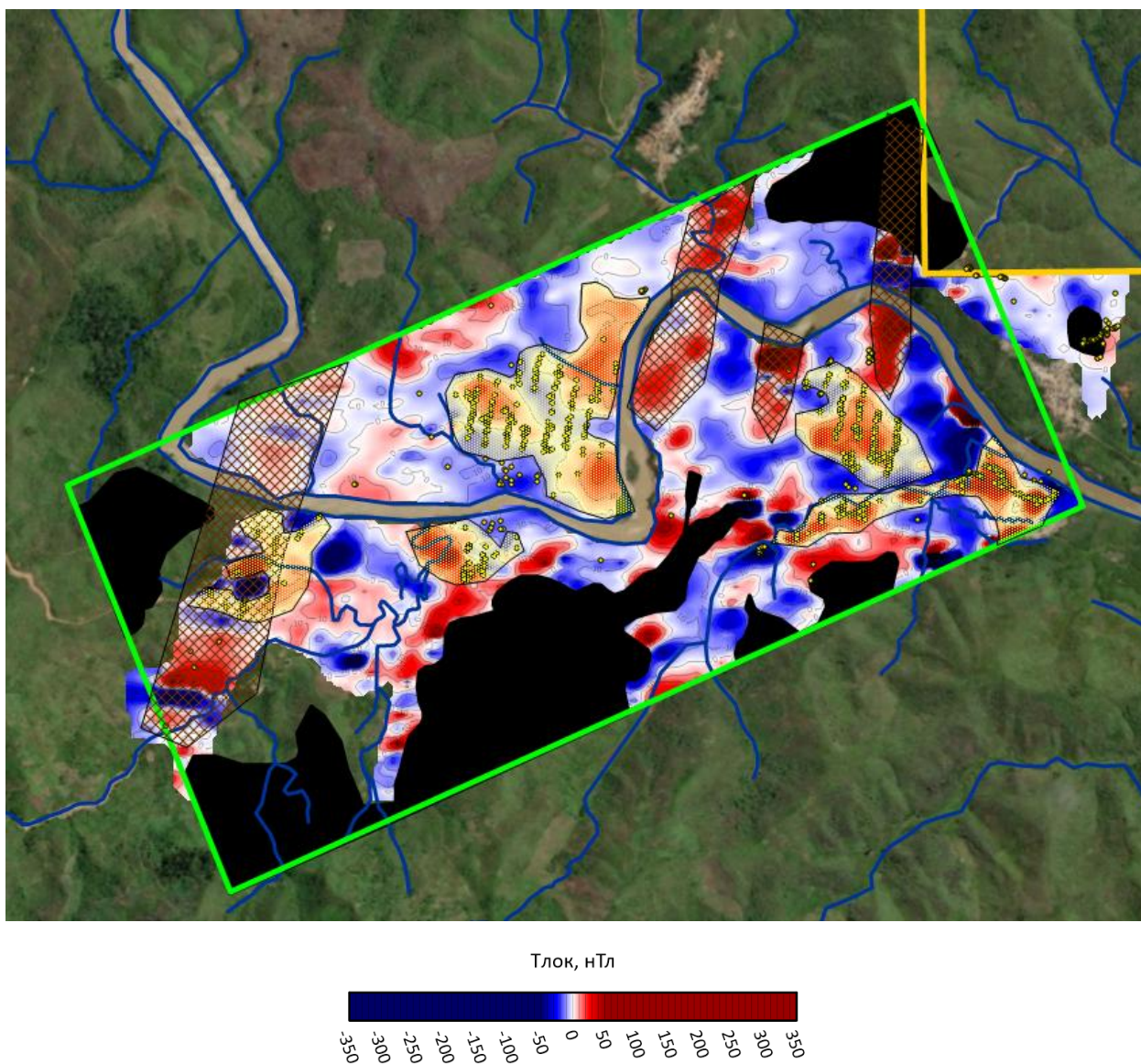


Рис. 5.1.21. Фрагмент карты изолиний локального МП, области интереса показаны полигонами желтого цвета

Важно отметить, что все выработки сконцентрированы вблизи областей северо-северо-восточного простираения (показаны контурами с коричневой штриховкой), предположительно связанными с тектоническими дислокациями.

5.2 Гамма-спектрометрия

В период с 28 октября по 18 декабря 2023 года методом гамма-спектрометрии было пройдено 47 профилей в пределах участка первой очереди, что составило 32,5 пог. км (рис.5.2.1). На 13-ти геологических точках наблюдения (ТН) была выполнена съемка в режиме «анализ». Замеры коренных выходов гнейсов на ТН 107-108, 124-126; замеры террасы в расчищенных стенках на берегу реки Sahaleone – ТН 111-112, 113, 121; и замеры дудок в областях старательских выработок – ТН 120, 122-123, 130-131 (рис. 5.2.1).

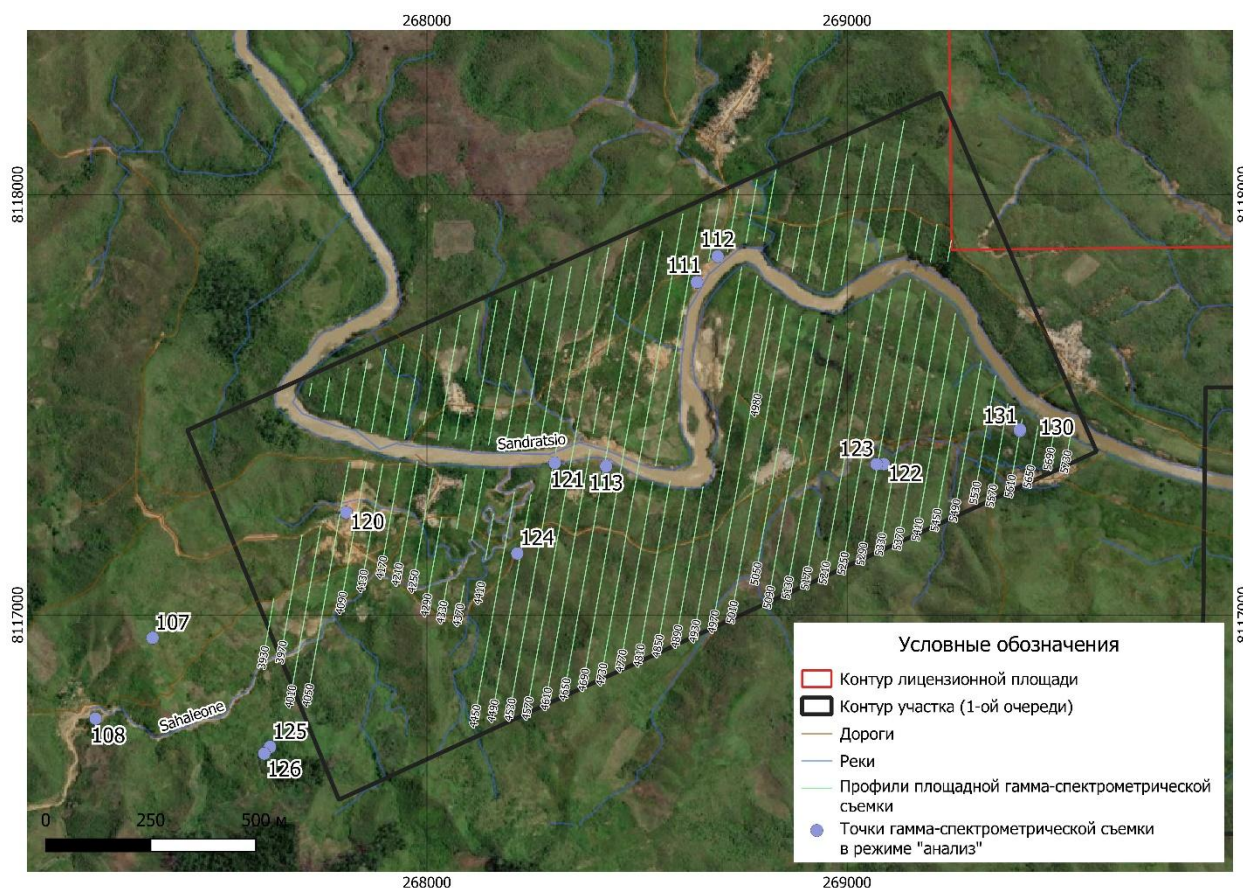


Рис. 5.2.1. Карта фактического материала по гамма-спектрометрии

Результаты гамма-спектрометрической съемки в режиме «анализ» в стенках обнажений и дудках.

Основной задачей гамма-спектрометрии, на первом этапе, было измерение содержаний ЕРЭ в террасовых и русловых отложениях реки Sandratsio, а также в коренных породах участка для выявления особенностей распределения ЕРЭ на разрезе, в том числе в продуктивном горизонте.

Различная ландшафтно-геологическая обстановка оказывает существенное влияние на различия в содержании радиоактивных элементов в породах. Это наглядно видно на

треугольной диаграмме (рис. 5.2.2). Диаграмма показывает процентное соотношение каждого компонента из суммы по трем переменным, лежащим в вершинах треугольника, в нашем случае – К, U и Th. Определить соотношение компонентов точки измерения можно, проводя воображаемые линии параллельно сторонам треугольника через нужную точку. Отрезки, отсекаемые этой линией на оставшихся двух сторонах и противолежащие соответствующей вершине, отвечают содержаниям компонента этой вершины.

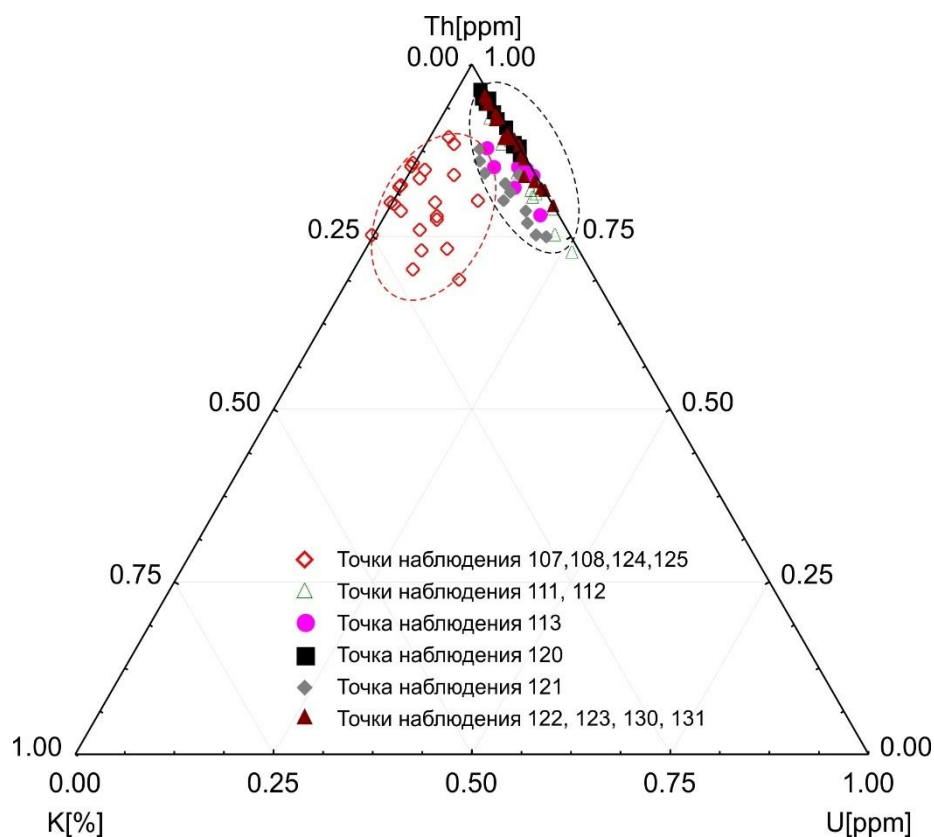


Рис. 5.2.2. Треугольная диаграмма распределения ЕРЭ в коренных породах и четвертичных отложениях. Красная пунктирная линия – гнейсы, черная пунктирная линия – аллювиальные отложения

Расположение всех точек в верхнем углу треугольника свидетельствует о существенном преобладании (> 70%) ториевой компоненты над К и U. Точки наблюдения 107, 108, 124 и 125 сняты на коренных выходах метаморфических пород – гнейсах, обозначены на диаграмме красными ромбами. Ожидаемо, они обособились в отдельную группу, с более высоким содержанием К (25-6%) и по большей части низким содержанием U (19-0%) относительно второй группы. Вторая группа точек снята на аллювиальных отложениях реки Sandratsio, для этих замеров характерно низкое содержание К, в пределах 6% (в большей степени 0%), и схожим содержанием U (25-3%), но со смещением большей части точек к 25-10%. Всего был выполнен 91 замер, статистические данные по которым представлены в таблице 9.

Таблица 9. Статистические характеристики распределения ЕРЭ

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
K[%]	91.00	1.46	0.70	0.00	5.40	1.69
U[ppm]	91.00	4.33	3.90	0.00	29.50	3.88
Th[ppm]	91.00	34.17	29.10	14.80	156.50	19.03
Dose	91.00	15.35	13.60	9.40	67.00	7.00

Результаты измерений и фотодокументация обнажений точек наблюдения, выполненные на аллювиальных отложениях, представлены на рисунках 5.2.3-5.2.8. Измерения проводились по расчищенным стенкам террасы и долины с равным интервалом. Название слоя отложений и номер точки измерения нанесены на фото справа от графиков. Графики представляют собой изменение содержания К [%], U и Th [ppm] от дневной поверхности вниз по разрезу на максимально возможную глубину, таким образом, самый нижний замер оказывается на продуктивном горизонте или близко к нему.

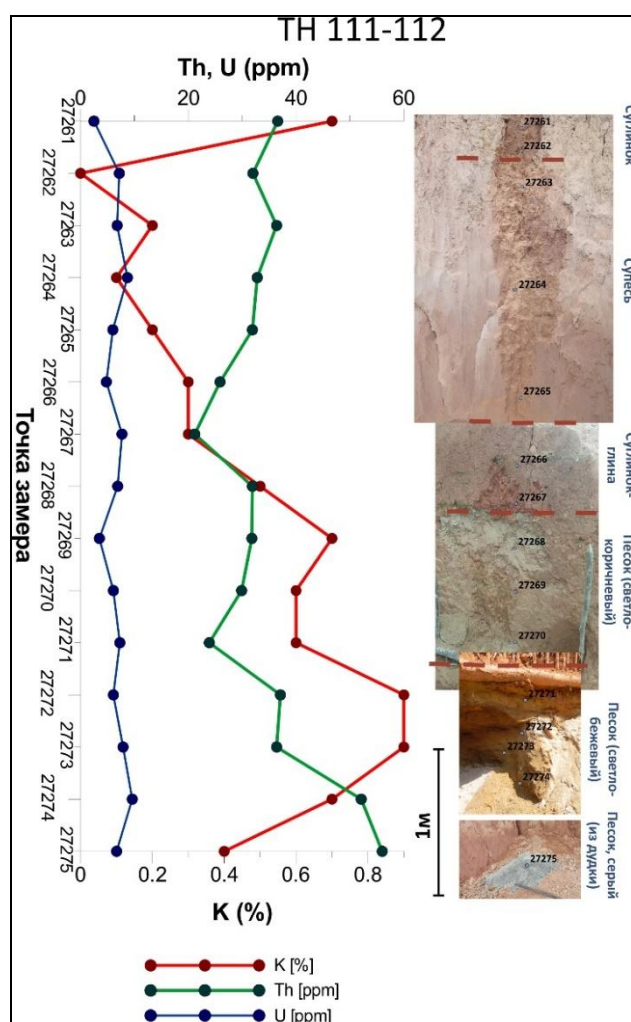


Рис. 5.2.3. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки террасы реки Sandratsio.

Точка наблюдения 111-112

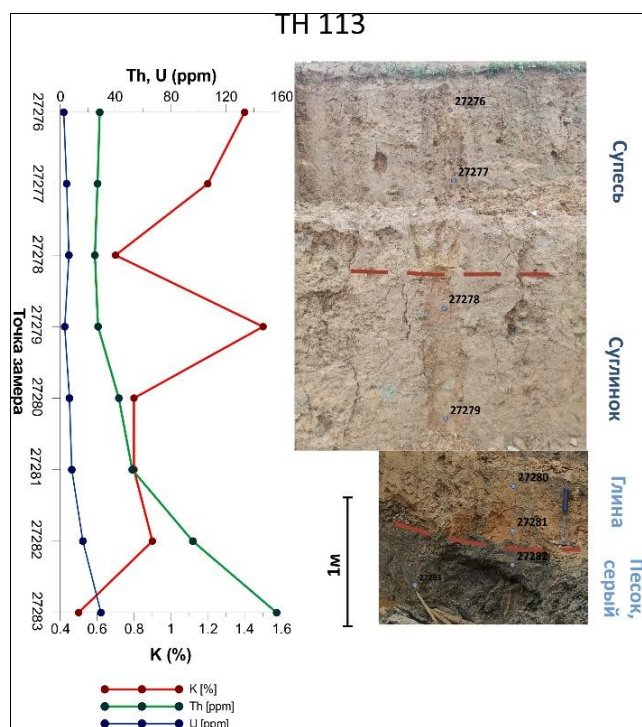


Рис. 5.2.4. Графики ЕРЭ с фотодокументацией долины (поймы) реки Sandratsio. Точка наблюдения 113

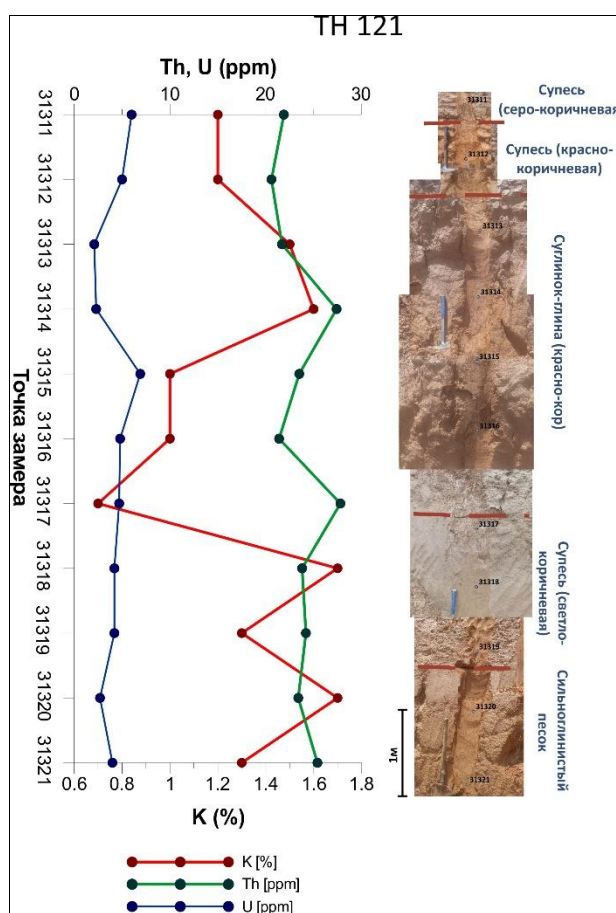


Рис. 5.2.5. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки террасы реки Sandratsio. Точка наблюдения 121

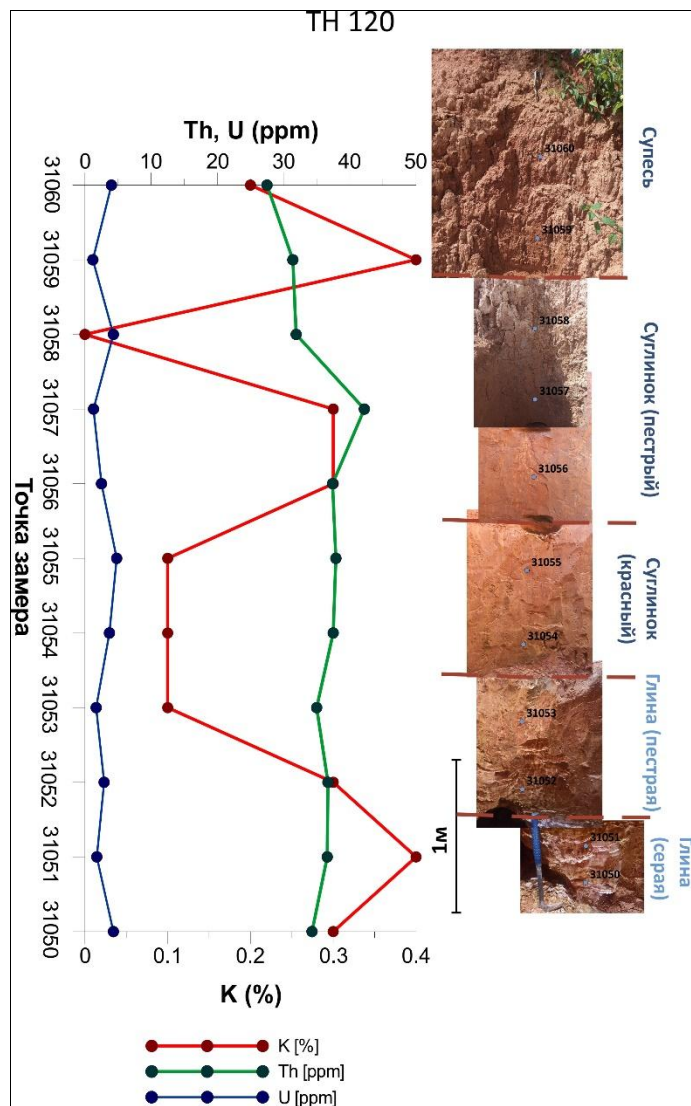


Рис. 5.2.6. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенки старательской дудки на карьере Sahaleone. Точка наблюдения 120

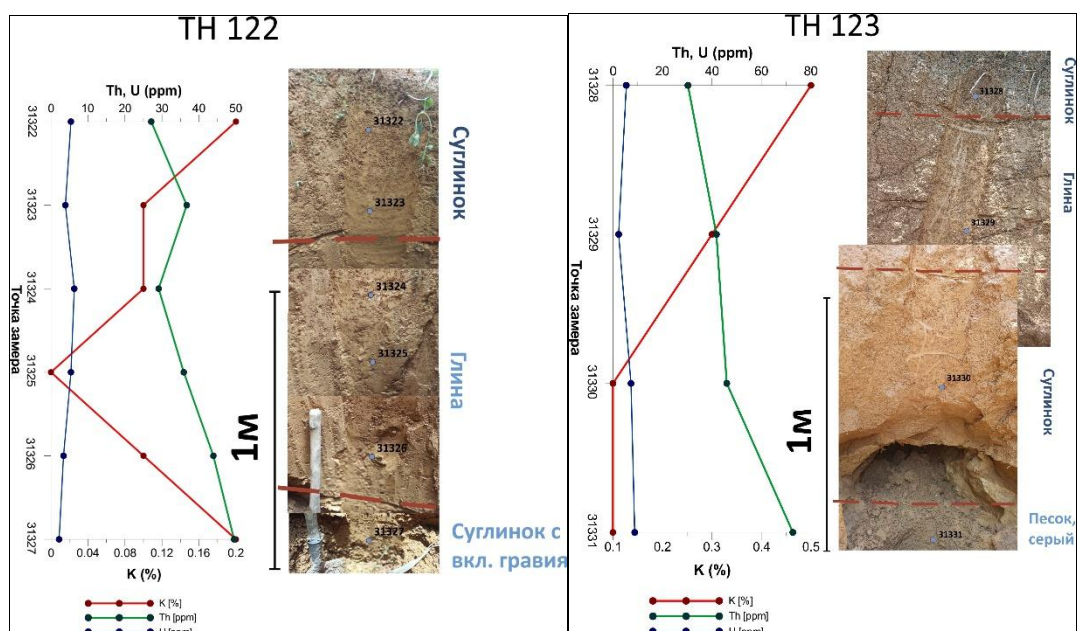


Рис. 5.2.7. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенок старательских дудок на притоке реки Sandratsio. Точки наблюдения 122, 123

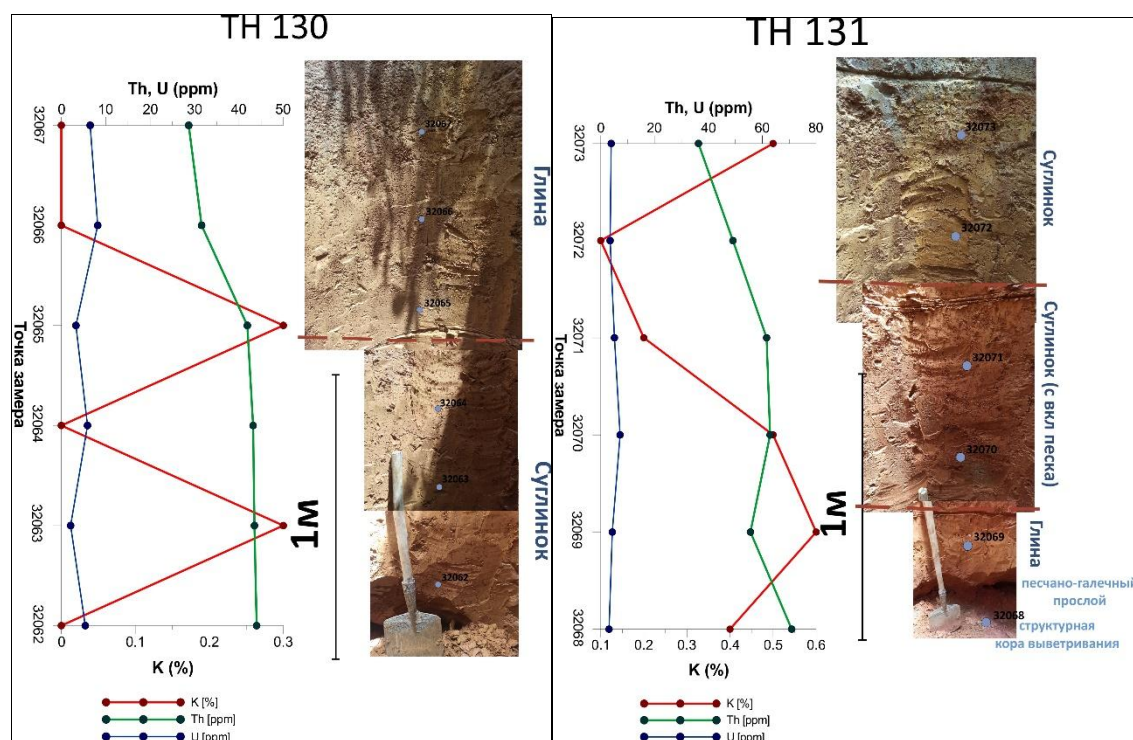


Рис. 5.2.8. Графики ЕРЭ с фотодокументацией стенок старательских дудок на притоке реки Sandratsio. Точки наблюдения 130, 131

На всех графиках распределение содержаний ЕРЭ имеет схожий характер. Концентрация Th увеличивается с глубиной, к основанию разреза. Ярче всего это наблюдается на ТН 111-112, 113, которые находятся на берегу реки Sandratsio (рис.5.2.3, рис.5.2.4). Точка наблюдения 121 (рис.5.2.5) также была расположена на берегу реки, но значения Th изменяются в меньших пределах и к низу разреза увеличиваются слабо (30-40

ppm). Этим она схожа со значениями Th (20-30 ppm) на ТН 120, расположенной в дудке на территории карьера (рис.5.2.6). Оба обнажения, из всех измеренных точек наблюдения, имеют максимальную мощность (4 и 5 метров), но не доходят до продуктивного горизонта. Вероятно, это можно объяснить изменчивостью глубины залегания продуктивного горизонта, и различной мощностью вышележащих слоев на исследуемой территории. Точки наблюдения 122-123 (рис 5.2.7) и 130-131 (рис 5.2.8) находятся в похожей геоморфологической обстановке – в русле притока, что объясняет аналогичные интервалы содержаний Th (30-80 ppm) и плавный характер графиков. Содержание U изменяется от 0 до 29.5 ppm, но в пределах одного обнажения, в большей степени, остается на одном уровне. Калий находится в интервале от 0 до 5.4% и ведет себя хаотично, закономерностей не выявлено.

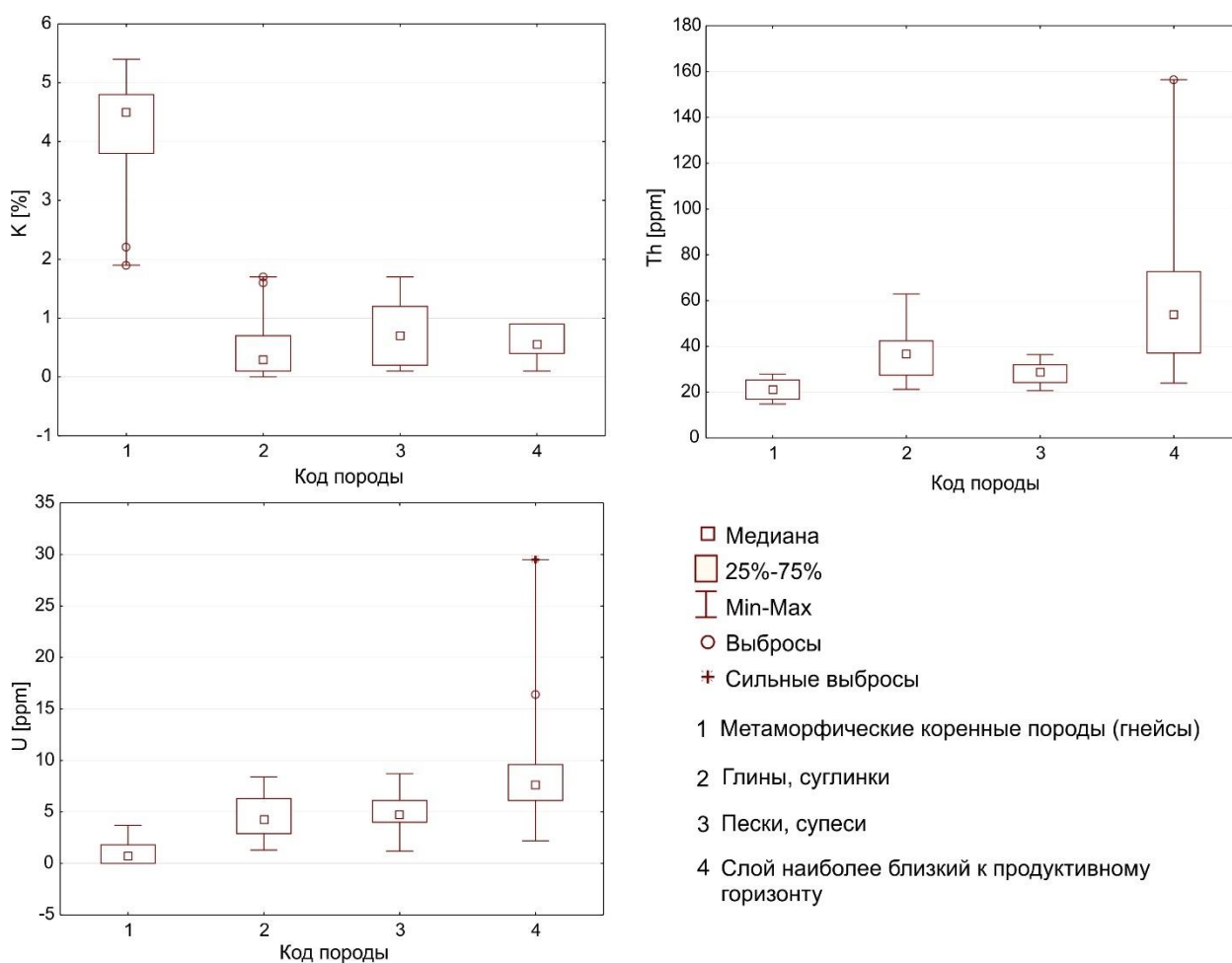


Рис. 5.2.9. Блочная диаграмма статистических характеристик групп литологических разностей для K, U и Th

Для удобства оценки статистических характеристик по содержанию K, U и Th в различных группах пород, была построена блочная диаграмма (рис. 5.2.9). Она содержит следующие параметры: медиана, нижний и верхний квартили, минимальное и

максимальное значение выборки и выбросы. На ней еще раз можно наблюдать явное выделение радиогеохимической специализации гнейсов (код 1) по высоким содержаниям калия и более низким U и Th, в сравнении с осадочными породами. Глины и пески (код 2, 3) имеют почти идентичные минимальные-максимальные значения содержаний K и U. По Th выделяются глины, которые имеют более высокую границу максимальных значений по сравнению с песками. Сильнее всего по U и Th выделяются самые нижние слои, которые имеют наиболее сильный разброс значений и медиану выше, чем в остальных трех группах.

Выводы по гамма-спектрометрической съемке в режиме «анализ»

- В аллювиальном разрезе наблюдается повышение уровня радиоактивности по мере приближения к продуктивному пласту, что объясняется присутствием более тяжелых радиоактивных акцессорных минералов, в частности монацита и циркона.
- Общее увеличение концентрации U и Th в глинистых/песчаных отложениях сравнительно с коренными породами, что происходит как принято считать за счет сорбционной способности глинистых частиц и органики.
- Коренные гнейсы отличаются от осадочных отложений большим содержанием K и пониженными концентрациями Th и U.

Результаты гамма-спектрометрической площадной съемки.

Профильные гаммаспектрометрические работы были направлены на выявление закономерности распределения ЕРЭ по площади и выделение зон перспективных на наличие в них полезного компонента. Формирование областей аккумуляции россыпных корундов в большей степени обусловлено геоморфологическими особенностями территории. Данные области, предположительно, входят в группу пород, а именно аллювиальных отложений, с единой радиогеохимической специализацией и физико-химическими процессами, происходящими в них. Эти области отличаются собственными механизмами накопления и миграции К, U, Th. Поэтому опираясь на геолого-геоморфологические данные было проведено районирование территории и выделено несколько кластеров, объединяющих участки с различными закономерностями распределения ЕРЭ (рис.5.2.10).

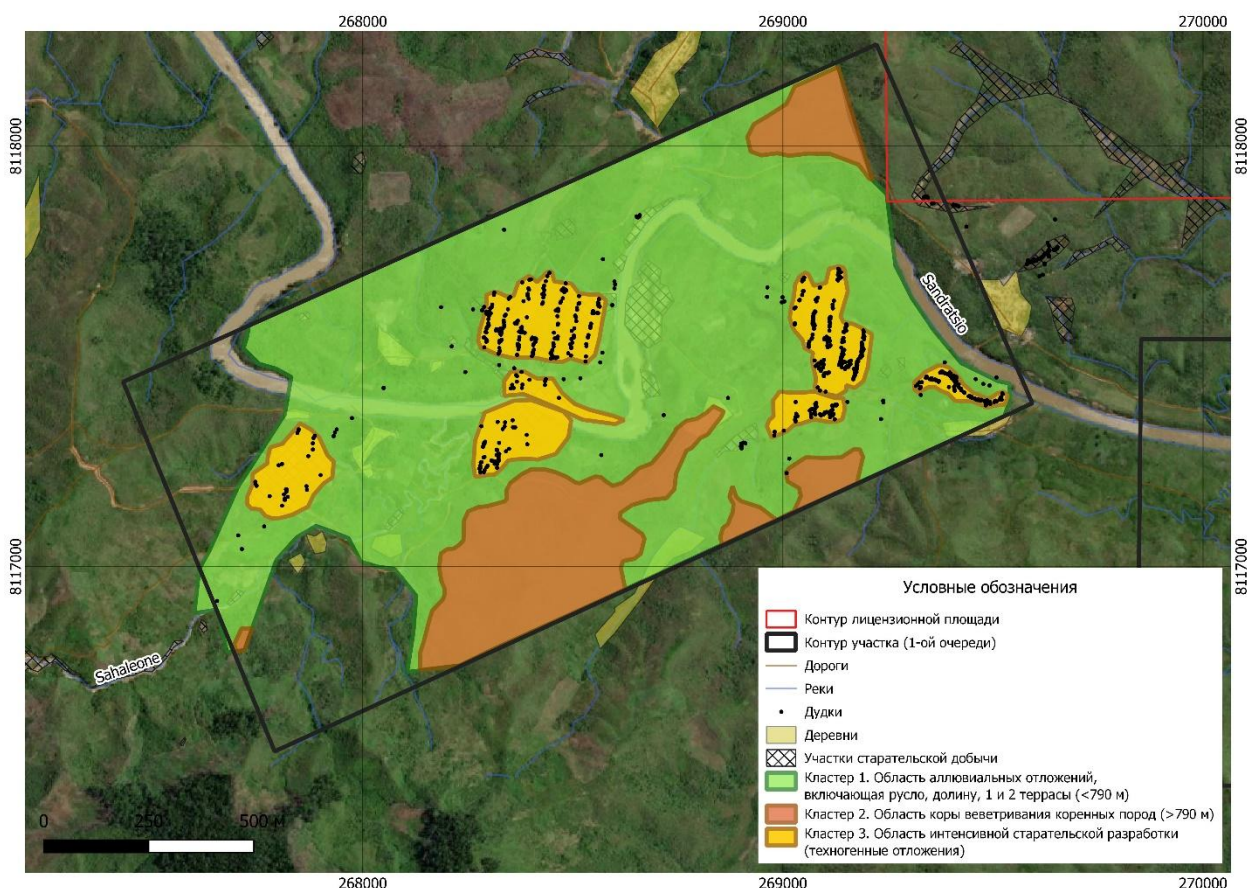


Рис. 5.2.10. Схема расположения ландшафтно-геологических кластеров

Кластер 1 включает территорию ниже высотной отметки в 790 метров, характеризуется распространением аллювиальных отложений, включающих следующие геоморфологические элементы: 1 и 2 террасы, речная долина и русло. Является основной зоной интереса на изучаемом участке.

Кластер 2 находится выше высотной отметки в 790 метров. Согласно геологическим наблюдениям выше этой отметки на данной территории аллювиальные отложения не распространены. Выше находятся коренные породы и их коры выветривания.

Кластер 3 входит в кластер 1 и объединяет области техногенных отложений. В них входят карьеры промышленной разработки (карьер на ручье Sahaleone), участки старетельской добычи на берегах реки Sandratsio и зоны распространения дудок. В таких областях породы с нижних слоев разреза (в том числе из продуктивного горизонта), которые оказывается на дневной поверхности в результате антропогенной деятельности, являются помехой для гамма-съемки. Не смотря на то, что такие области являются перспективными они будут исключены из конечных расчетов многофакторного анализа (АРК).

На основе этой классификации можно провести статистическую оценку уровня фоновых значений и других показателей, увидеть дополнительные геохимические особенности на участках с различными геоморфологическими и геологическими условиями.

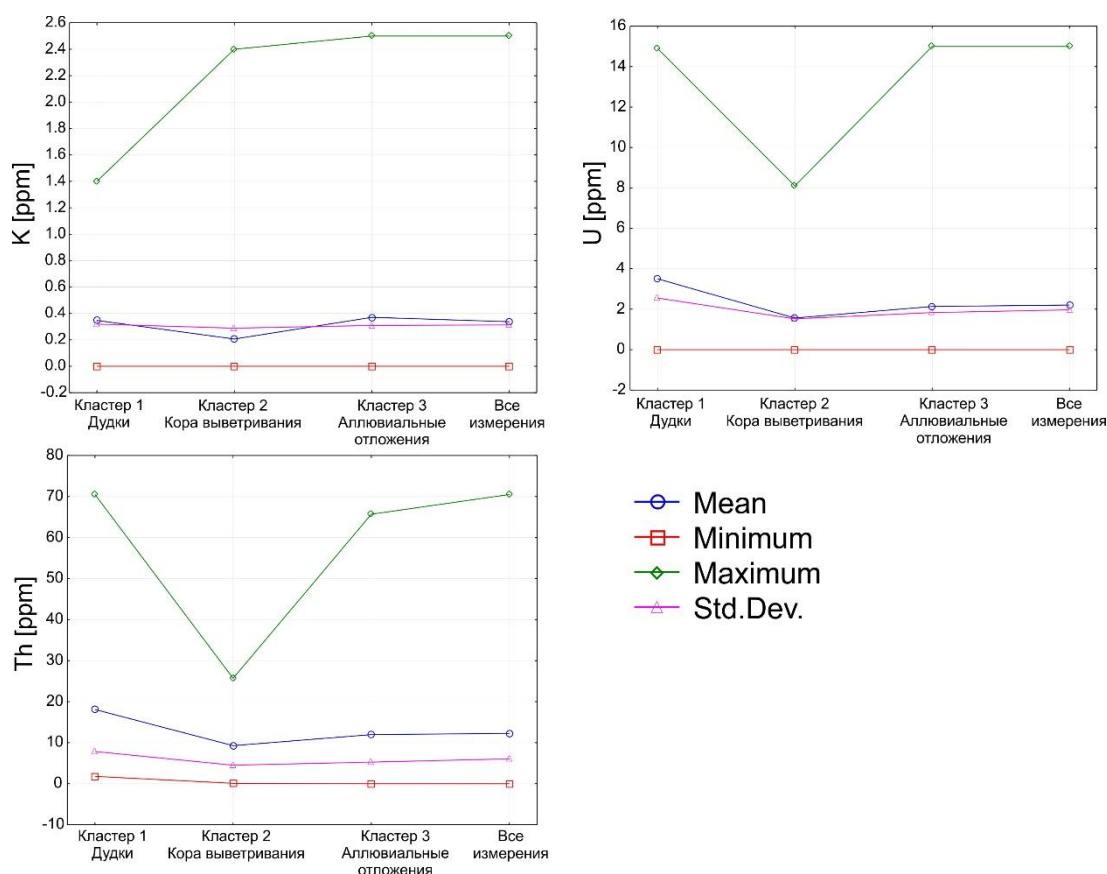


Рис. 5.2.11. Линейная диаграмма статистических показателей кластеров для K, U и Th

Линейная диаграмма (рис.5.2.11) показывает тенденцию изменения переменных (среднее, минимальное, максимальное, стандартное отклонение) в разных кластерах для К, U и Th.

Кластер 1 (дудки) имеет максимальные значения по К существенно ниже, чем остальные кластеры, а также средние значения U и Th выше, чем средние по другим кластерам. Кластер 2 (коры выветривания) отличается пониженными значениями как среднего, так и верхней границей разброса значений по всем трем параметрам. Особенно сильно это заметно по максимальным значениям U и Th, то есть на площади распространения кор выветривания интенсивные аномалии отсутствуют. Значения переменных кластера 3 (аллювиальные отложения) схожи со значениями по всей площади. Важно отметить, что максимальные значения по Th и U находятся почти на уровне с максимальными значениями кластера 1. Это значит, что в интересующей нас области развития аллювиальных отложений, есть интенсивные аномалии U и Th, связанные с естественным залеганием радиоактивных слоев, а не только с добычной деятельностью человека. Тот факт, что площадные работы показали связь повышенных значений U с областями, по умолчанию перспективными для добычи (кластер 3), позволяет предположить о связи продуктивного горизонта не только с аномалиями по Th, но и совместными аномалиями Th с U.

Площадные данные вполне коррелируют с наблюдениями, полученными в результате съемки на точках. Пониженные содержания U и Th в кластере 2 можно объяснить активной миграцией компонентов в результате химического выветривания. Не высокие, относительно других кластеров значения К, как в съемках на точках, вероятно связаны с тем, что замеры проводились на менее измененных гнейсах, где вынос элементов был не настолько интенсивным.

На рисунках 5.2.12, 5.2.14, 5.2.16 представлены карты изолиний содержания К, U, Th, за фон приняты средние значения по участку 0.3%, 1.9 ppm и 11.4 ppm соответственно (прил. 5.2). Предварительно можно говорить о том, что формирование радиохимической зональности по площади для некоторых элементов происходило в зависимости от ландшафтно-геологической обстановки.

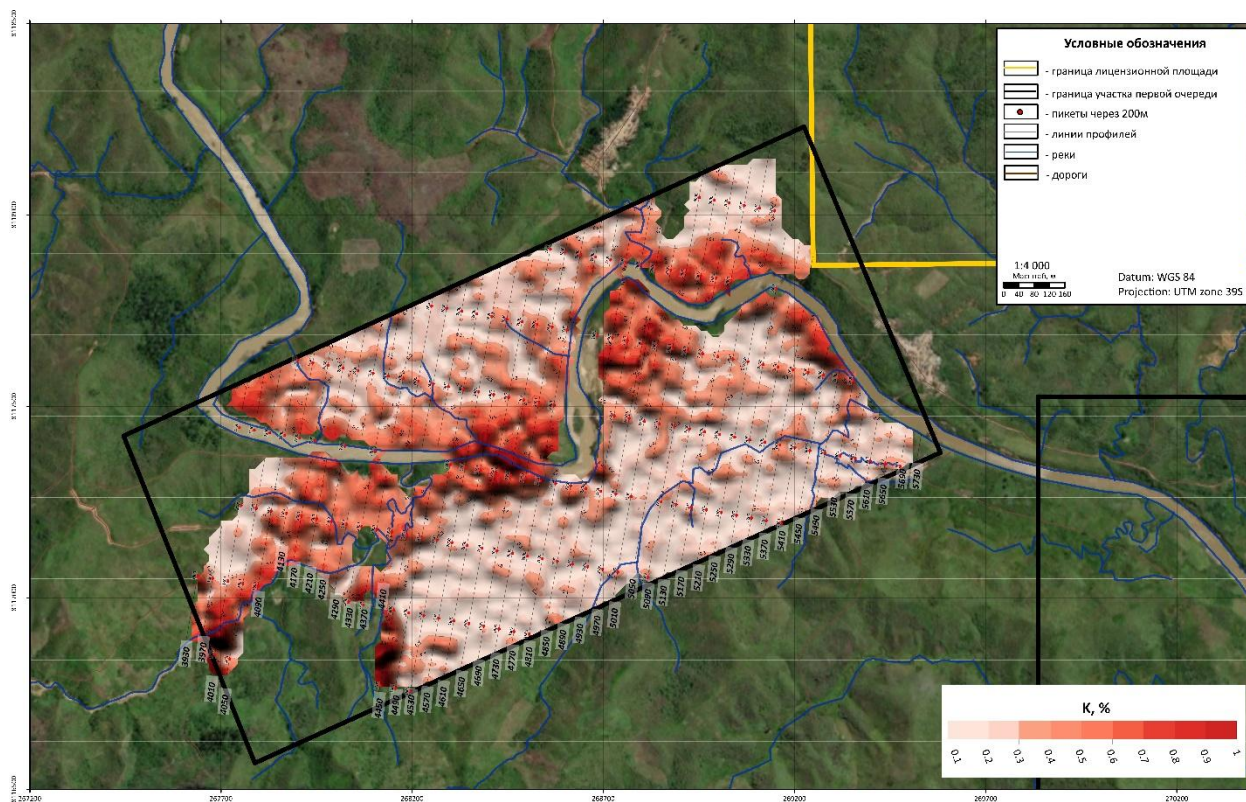


Рис. 5.2.12. Карта изолиний распределения Калия

Для калия она выражается в обособлении областей повышенных значений ($>0.3\%$) в пределах пониженных форм рельефа, особенно по долинам рек. Это хорошо видно из рисунка 5.2.13, где все повышенные значения К находятся в пределах русловых отложений, поймы и первой надпойменной террасы.

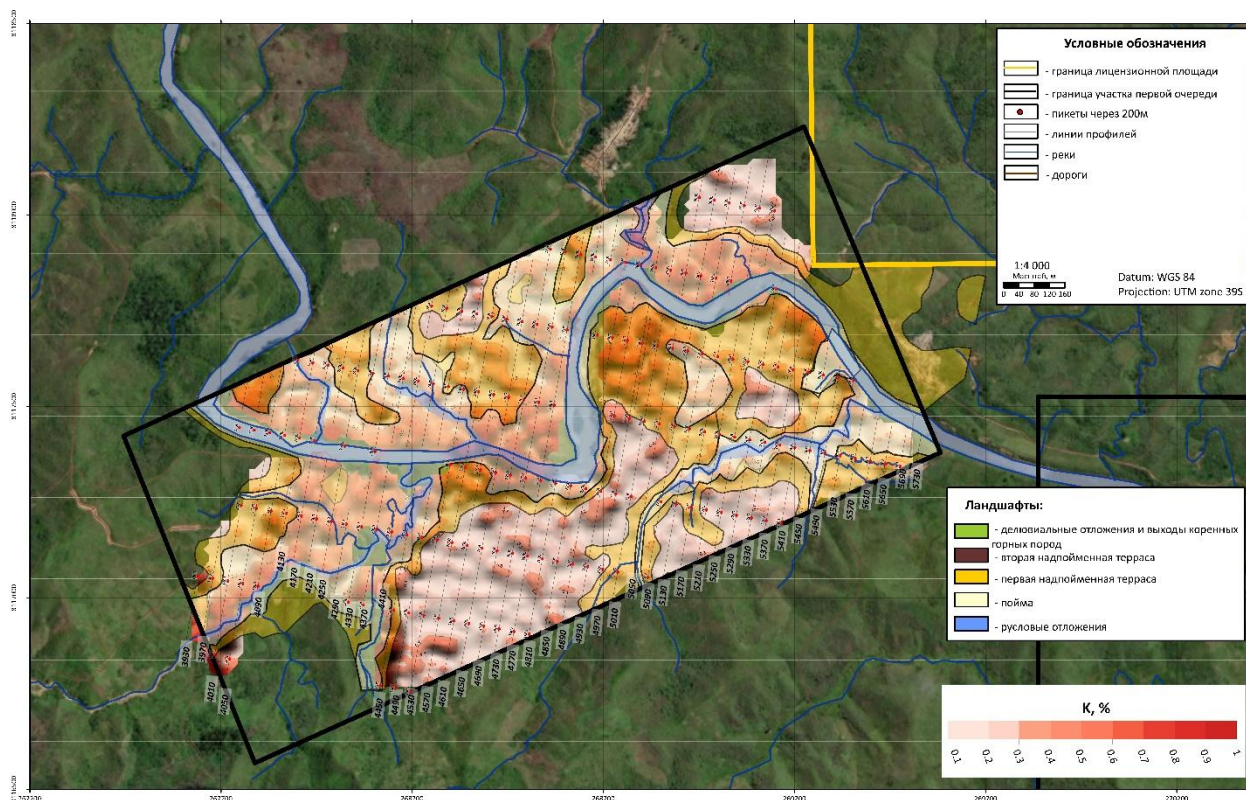


Рис. 5.2.13. Карта изолиний распределения Калия под ландшафтной основой

Такое распределение элемента по площади вполне отражает основные процессы выветривания, происходящие в зоне гипергенеза. На первой стадии которого из коренных пород, в нашем случае – гнейсов, выносятся основные щелочные элементы, такие как калий. Который в виде растворимых соединений мигрирует в понижения в рельефе, при этом сорбируясь глинистыми минералами и почвами [9].

Для урана пространственная структура поля не имеет направления, отражающего направления геологических структур. Интенсивные аномалии, в основном, локализованы по берегам реки Sandratsio и ее притокам, либо маркируют области старательской разработки, выделенной кластером 3 (рис.5.2.15). Кластер кор выветривания, как говорилось ранее, имеет пониженные значения всех трех элементов в том числе U (прил. 5.2, рис.5.2.10), что отражается на карте (рис.5.2.14, рис.5.2.15). Верхний горизонт вертикального профиля кор выветривания подвержен глубокой трансформации минерального состава, где уран окисляется, переходя в более легкорастворимую форму. Такие области имеют свои радиогеохимические особенности и сложные взаимоотношения ЕРЭ. Так как в рамках текущих работ областью поискового интереса являются аллювиальные отложения, зоны кор выветривания будут рассмотрены с точки зрения общей геологической интерпретации.

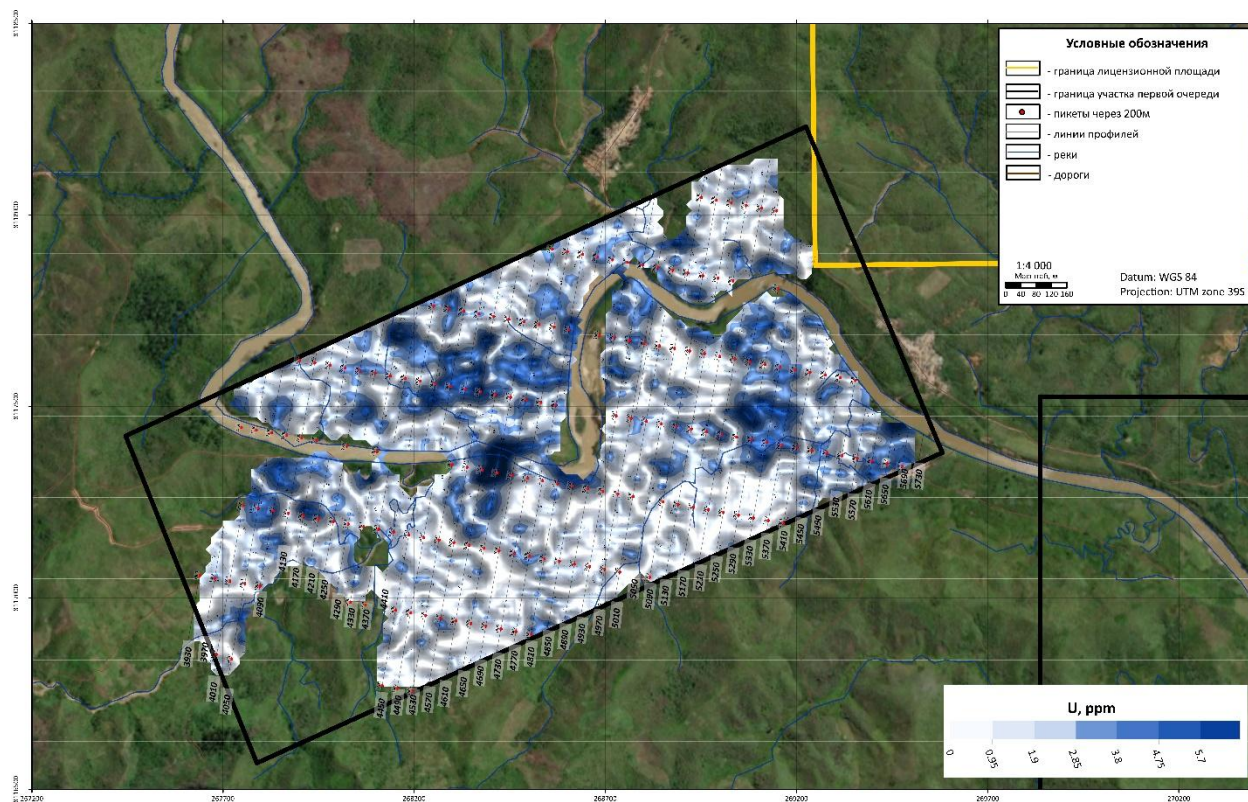


Рис. 5.2.14. Карта изолиний распределения Урана

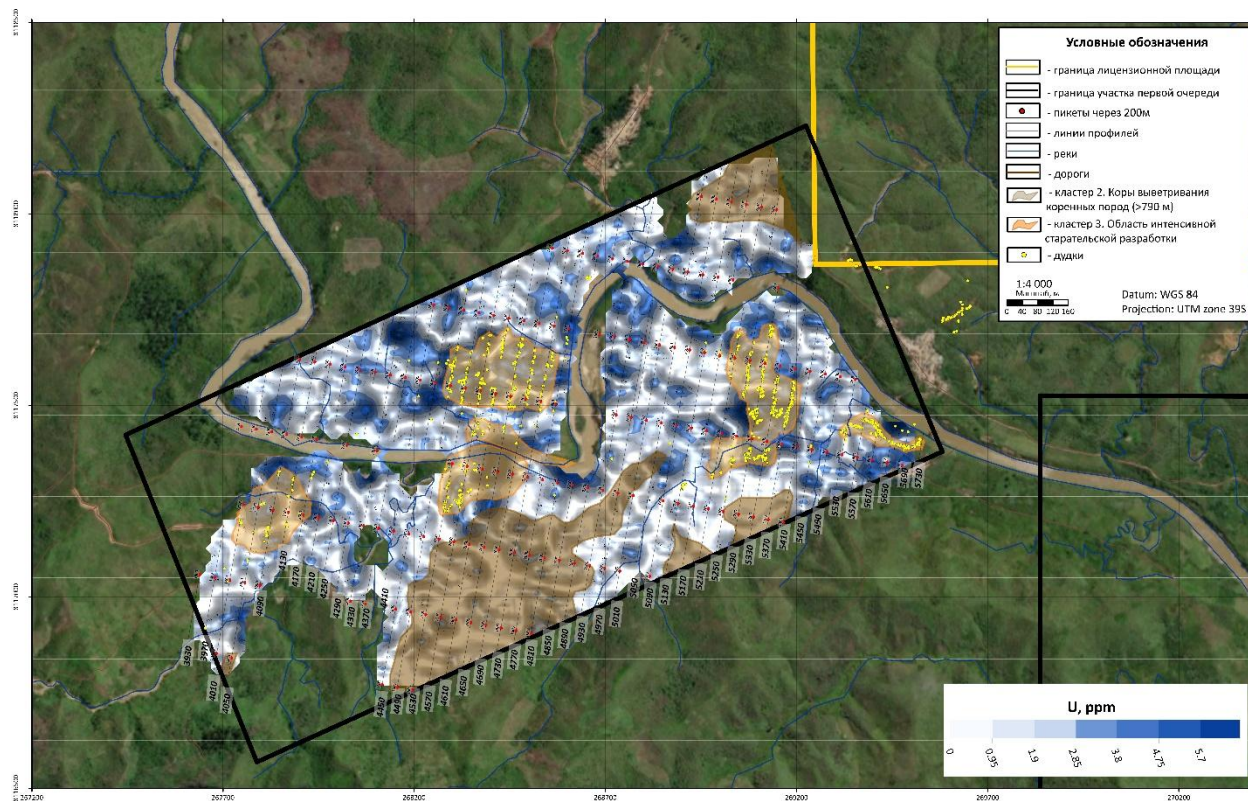


Рис. 5.2.15. Кластеры 2 и 3 на карте изолиний распределения Урана

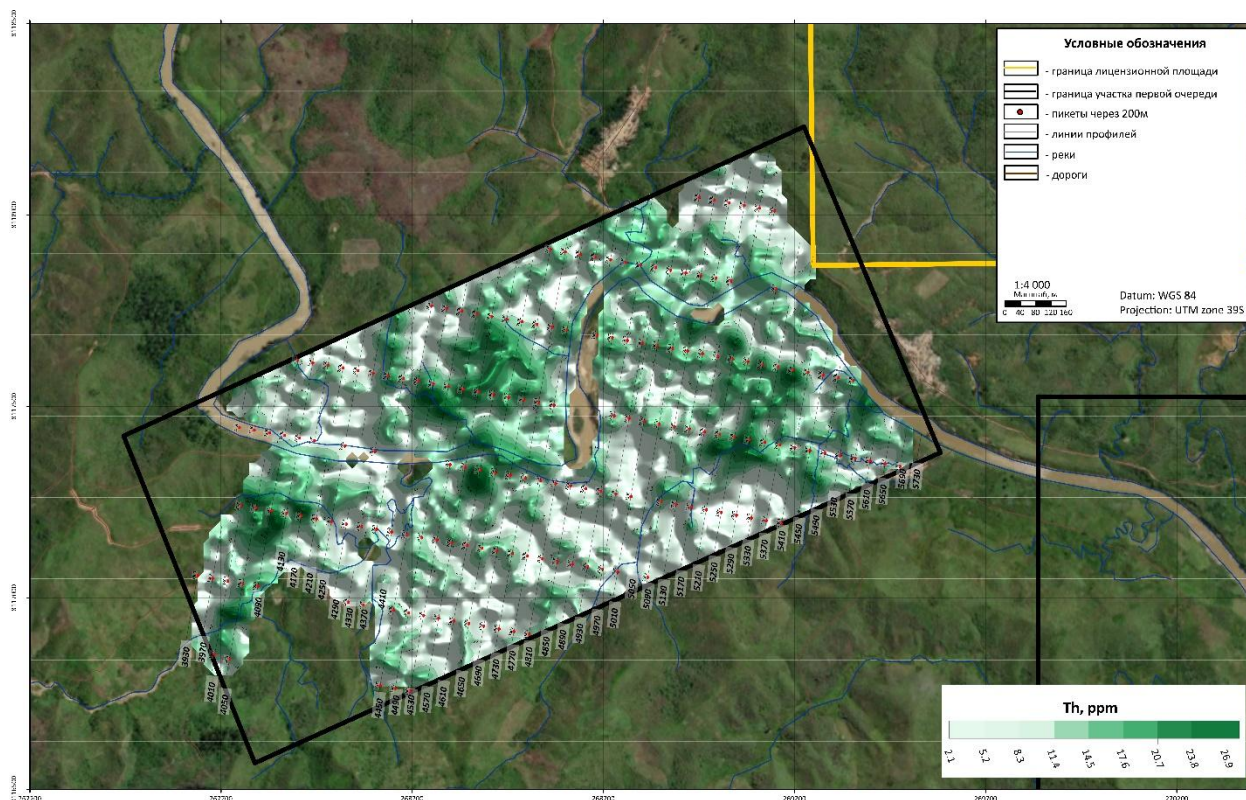


Рис. 5.2.16. Карта изолиний распределения Тория

Из всех элементов наибольшее распространение по площади имеет торий. Как и уран он сопровождает участки старательской разработки и русла притоков реки Sandratsio. Но в отличие от урана большинство крупных интенсивных аномалий находятся в зонах добычи, кроме одной на левом берегу, на границе с одной из выработок (5.2.17). Таким образом можно судить о свойственных только для урана процессах интенсивного накопления, например, восстановлении и сорбции U органическим веществом, позволяющих образовывать зоны с его высоким содержанием.



Рис. 5.2.17. Фрагмент карты изолиний распределения Тория

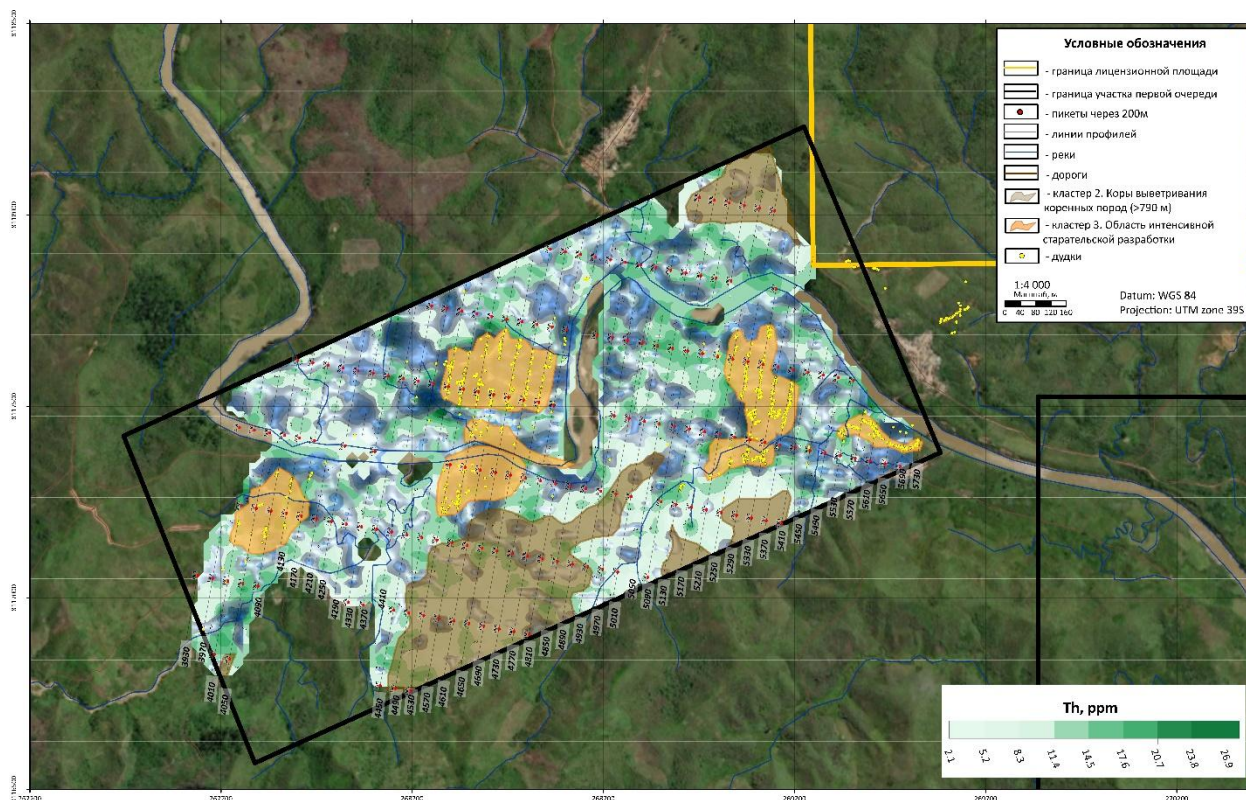


Рис. 5.2.18. Карта изолиний распределения Тория и Урана

Торий, в свою очередь, может сопровождать процессы образования верхнего (каолинитового) горизонта кор выветривания или химического/механического обогащения различных слоев осадков, что объясняет его широкое распространение.

Пространственная корреляция Th и U слабая, аномалии имеют частичные пересечения в местах их наибольшей интенсивности, в том числе за пределами старательских разработок (5.2.18). Установить вызвано ли это единым генезисом процессов, приводящих к такому распределению ЕРЭ, например, механическим обогащением тяжелой фракции минералами, содержащими Th и U, либо другими уже химическими процессами накопления элементов в отложениях, не представляется возможным. В любом случае эти процессы не являются взаимоисключающими, поэтому, основываясь на геолого-геоморфологической информации и анализе вышеописанных данных, в качестве перспективных аномалий следует рассматривать аномалии Th и Th совместно с U.

Хорошим инструментом для таких задач являются карты АРК (см. главу 4.2.2), которые позволяют с помощью количественных характеристик изменчивости уровней концентрации, и взаимосвязей радиоактивных элементов, выделить различные классы по K, U, Th.

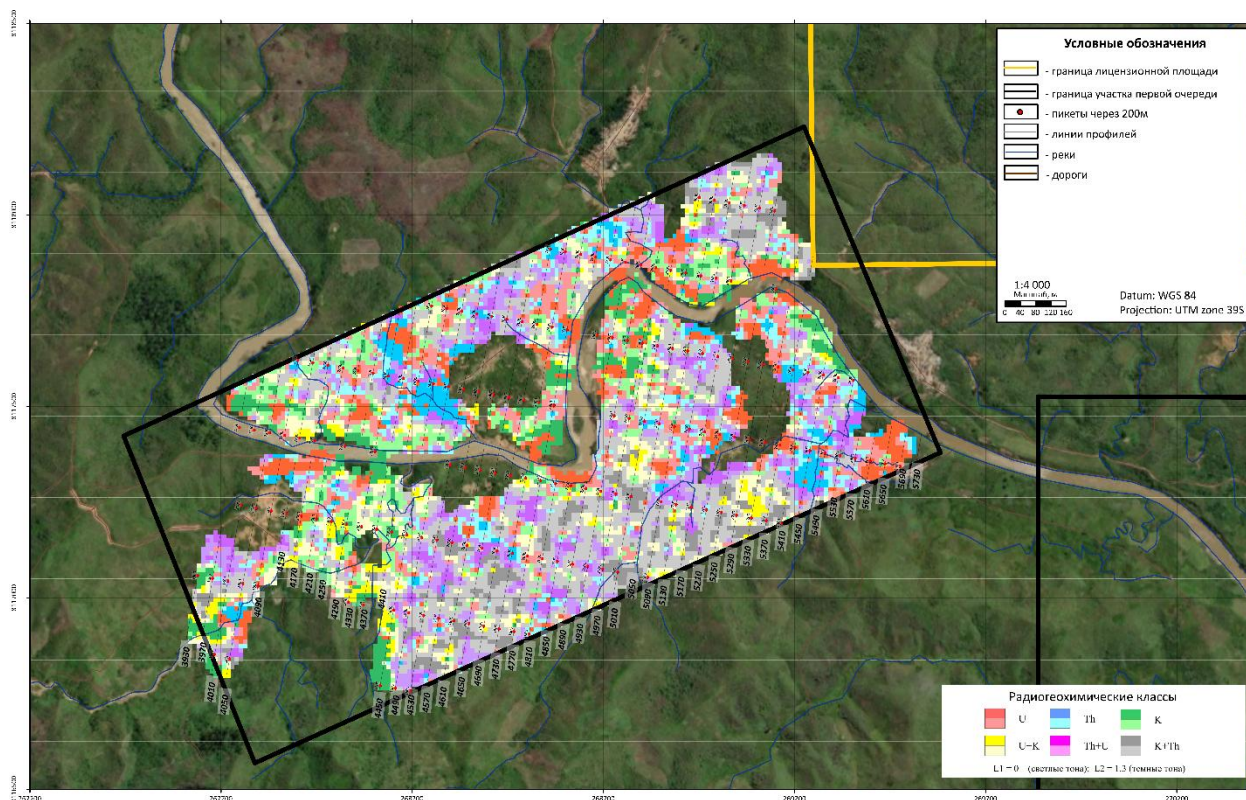


Рис. 5.2.19. Карта АРК

При проведении подсчета АРК из массива данных были исключены участки техногенных отложений, являющиеся помехой для проведения расчетов. Полученная классификационная модель радиогеохимических полей, отражает связь уровней накопления химических элементов, что коррелируется с геоморфологическим и геологическим строением. На карте выделяются следующие геоморфологические зоны:

- 1) Русло-пойменные отложения, характеризуются преобладанием К и U+K (желто-зеленый цвет) (рис.5.2.19);
- 2) Коры выветривания коренных пород, с преобладанием K+Th и Th+U (серый и сиреневый цвета) (рис.5.2.19).

Зоны наиболее интенсивного накопления урана, выделились локальными областями избытка U над калием и торием (красный цвет). Интересующий нас класс преобладания Th и Th+U отмечен синим и сиреневым цветами (рис.5.2.20). Из областей потенциально перспективных исключаются аномалии, перекрытые кластером 2 и прилегающие к нему.

Итоговая карта перспективных областей по результатам гамма-спектрометрии представлена на рисунке 5.2.21.

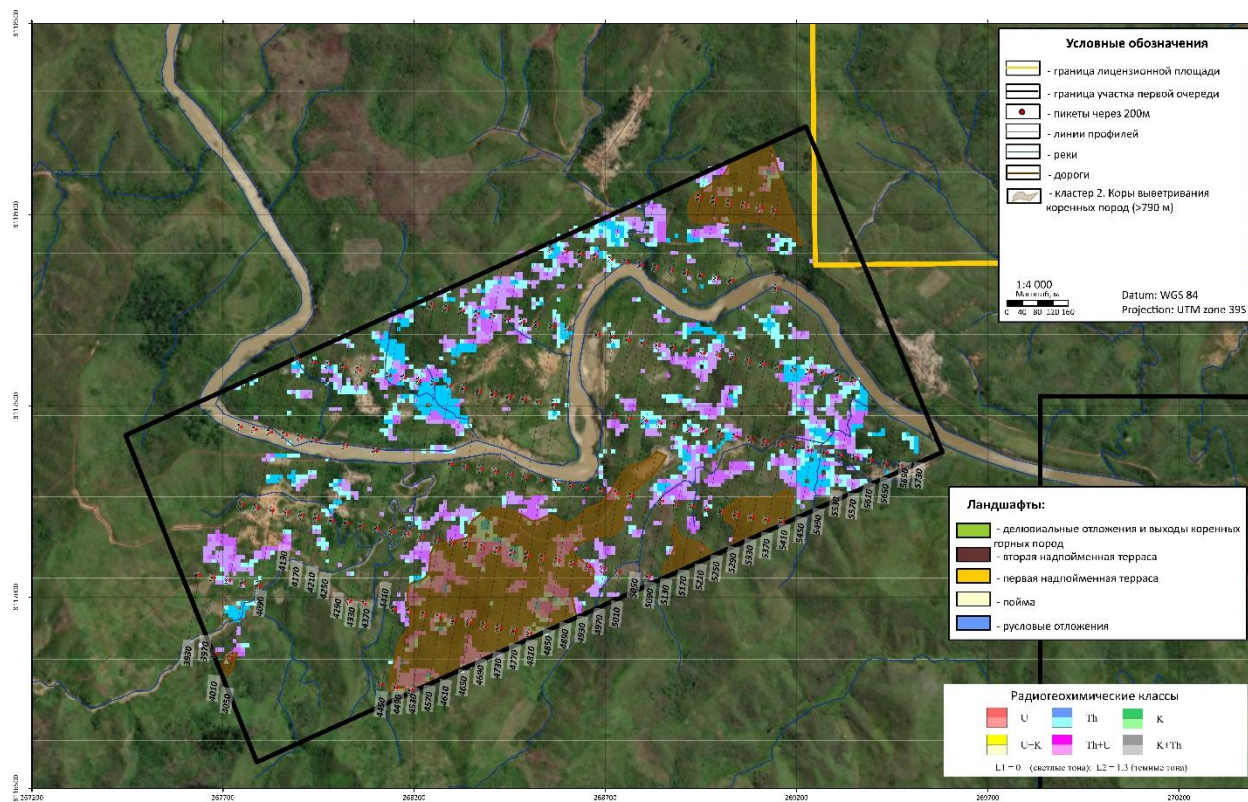


Рис. 5.2.20. Карта радиогеохимических классов Th и Th+U

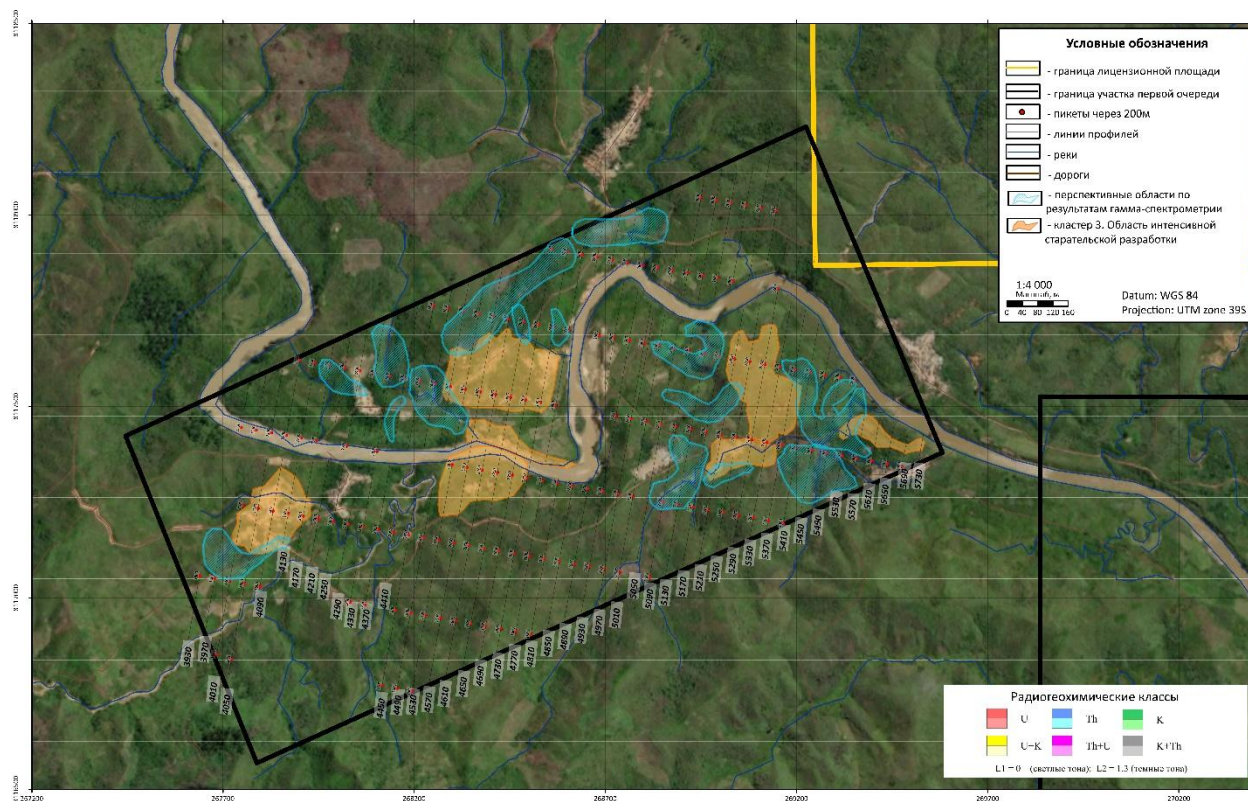


Рис. 5.2.21. Карта перспективных зон по данным гамма-спектрометрии

Выводы по гамма-спектрометрической площадной съемке

Формирование радиогеохимического состава пород и закономерностей распределения ЕРЭ, наблюдаемых на участке обусловлено в первую очередь геолого-геоморфологическими факторами. Одной из особенностей изучаемого участка было наличие на нем нескольких дифференцированных геолого-геоморфологических зон с различными механизмами накопления и миграции К, U, Th. Тем не менее в результате анализа полученных гамма-спектрометрических полей удалось классифицировать участок по радиогеохимическим признакам, коррелирующим с геолого-геоморфологическим строением территории.

Первая выделенная зона - это коренные породы и их коры выветривания. В ходе геологических наблюдений было установлено, что данная зона начинается примерно с высоты 790 метров. Гамма-спектрометрия выявила следующие особенности количественного и пространственного распределения ЕРЭ:

- *Коренные гнейсы отличаются от аллювиальных отложений повышенным содержанием К и пониженными концентрациями Th и U (см. гл. 6.2.1.);*
- *Для продуктов выветривания коренных гнейсов характерны пониженные содержание всех трех компонентов в сравнении с аллювиальными отложениями (см. гл. 6.2.1.).*

Вторая зона включает территорию ниже высотной отметки 790 метров, характеризуется распространением аллювиальных отложений, включающих следующие геоморфологические элементы: 1 и 2 террасы, речная долина и русло. Является основной зоной интереса на изучаемом участке. Для нее характерно:

- *В аллювиальных отложениях наблюдается увеличение уровня радиоактивности вниз по разрезу, при приближении к продуктивному пласту;*
- *Общее увеличение концентрации U и Th в глинистых/песчаных отложениях в сравнении с коренными породами;*
- *Для наиболее интенсивных площадных аномалий Th и U характерна приуроченность к карьерам и старательским разработкам;*
- *Обособленность площадных аномалий К в пределах пониженных форм рельефа: русловых отложений, поймы и первой надпойменной террасы*

5.3 Электроразведка

Электроразведочные работы ТЭЗ-ВП были поставлены на наиболее интересных, с точки зрения геологии и геоморфологии, участках для определения их строения.

Объемы работ составили 143 точки зондирования, 5801 ф.т.н. (физических точек наблюдения), из которых 355 ф.т.н. составили измерения на контрольных пикетах.

Таблица 10. Объемы электроразведочных работ

ПР и МГ	Длина профиля	Кол-во точек заземления А	Кол-во физических точек наблюдения
4930	280	20	882
2590	235	13	491
4980	235	13	488
2540	340	18	791
4570	175	10	319
2190	160	9	272
5290	360	19	847
4730	360	19	856
2480	240	13	500
Контроль	150	9	355
Итого	2535	143	5801

На рис. 5.3.1 представлена схема расположения профилей и магистралей. По результатам измерений для каждого профиля была выполнена двумерная инверсия, построены разрезы удельного электрического сопротивления (УЭС) и поляризуемости.

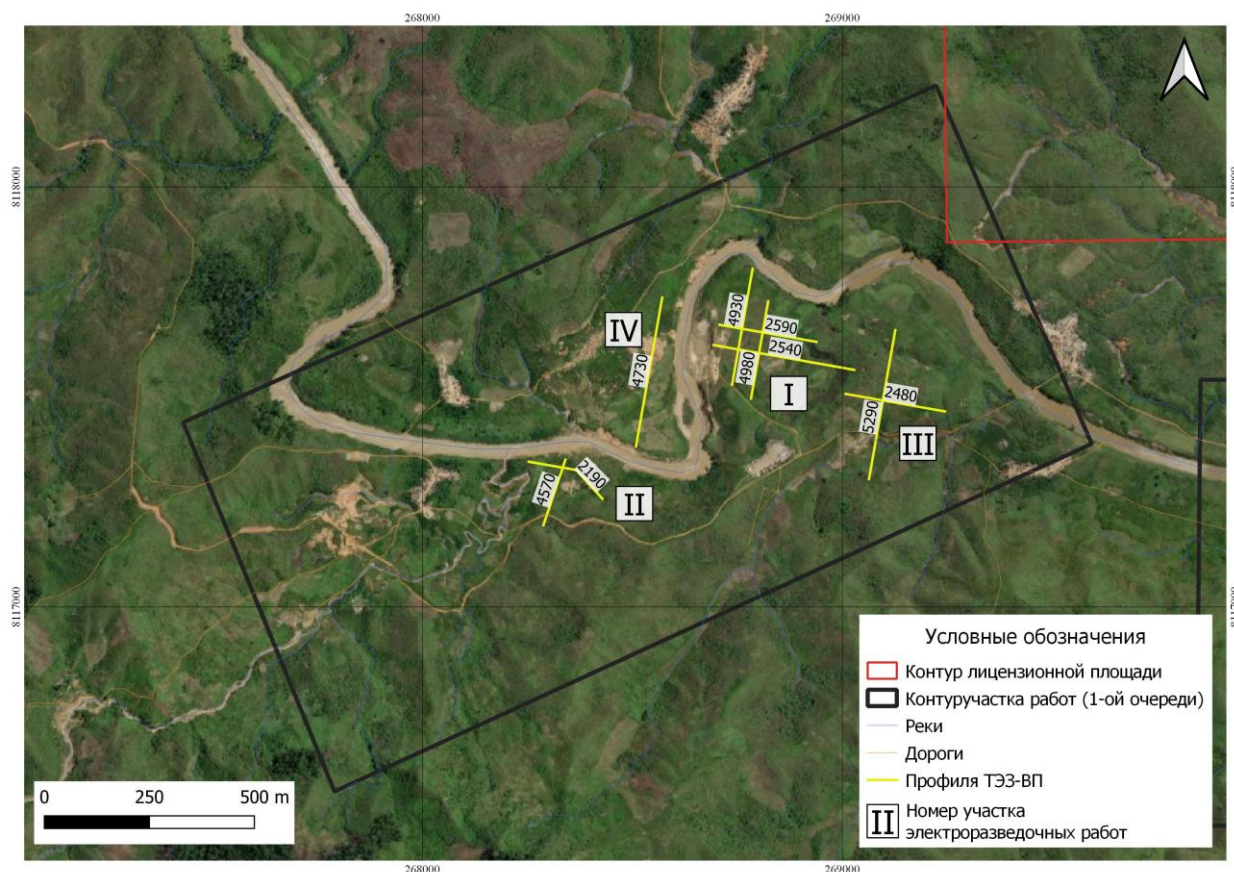


Рис. 5.3.1. Схема расположения профилей на участке

Участок 1

На участке 1 работы были выполнены по двум профилям: 4930, 4980 и двум магистралям: 2540, 2590. При этом профили 4930 и 4980 перпендикулярны магистралям 2540 и 2590.

Профиль 4930

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на профиле 4930 меняются от 80 до 4730 Ом·м (рис.5.3.2).

Разрез уверенно разделяется на три контрастных слоя с двумя маломощными прослоями.

Первый – приповерхностный слой, распространённый на всю длину разреза, характеризуется мощностью порядка 12 м и широким диапазоном значений УЭС (400-2000 Ом·м). Слой выдержан по мощности и характеризуется неоднородным строением – данный слой можно описать как совокупность крупных высокоомных блоков неправильной формы, разграниченных прослоями и промежутками со средними значениями параметра сопротивления (порядка 400 Ом·м).

Второй слой расположен между высотными отметками 750м и 730м, также распространен по всей длине разреза и характеризуется выдержанной мощностью и значениями УЭС в диапазоне 80-300 Ом·м. Слой однородный, за исключением двух интервалов с сопротивлением порядка 200-300 Ом·м.

Третий слой начинается с высотной отметки 725 м и распространяется на глубину, выходящую за пределы исследования. Слой характеризуется максимальными (в рамках разреза) значениями УЭС, плавно растущими с глубиной. Высотная отметка верхней кромки аномалии постепенно повышается к правой стороне разреза, за исключением понижения в центре разреза.

Также следует отметить малый слой, располагающийся между вторым и третьим слоем. Для этой структуры характерно равномерное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.9 до 5.4 % (рис.5.3.2).

На разрезе выделяется приповерхностный слой мощностью до 22 м, мощность слоя не выдержана – имеют место значительные утонения вплоть до 8 м и интервалы с существенно пониженными значениями поляризуемости. Остальная часть разреза представлена в основном низкими (порядка 1%) значениями поляризуемости или обширными областями с поляризуемостью до 3%. В нижней части разреза представлена высокоамплитудная аномалия 4-4,5% расположенная в области понижения высотной отметки третьего высокоомного слоя.

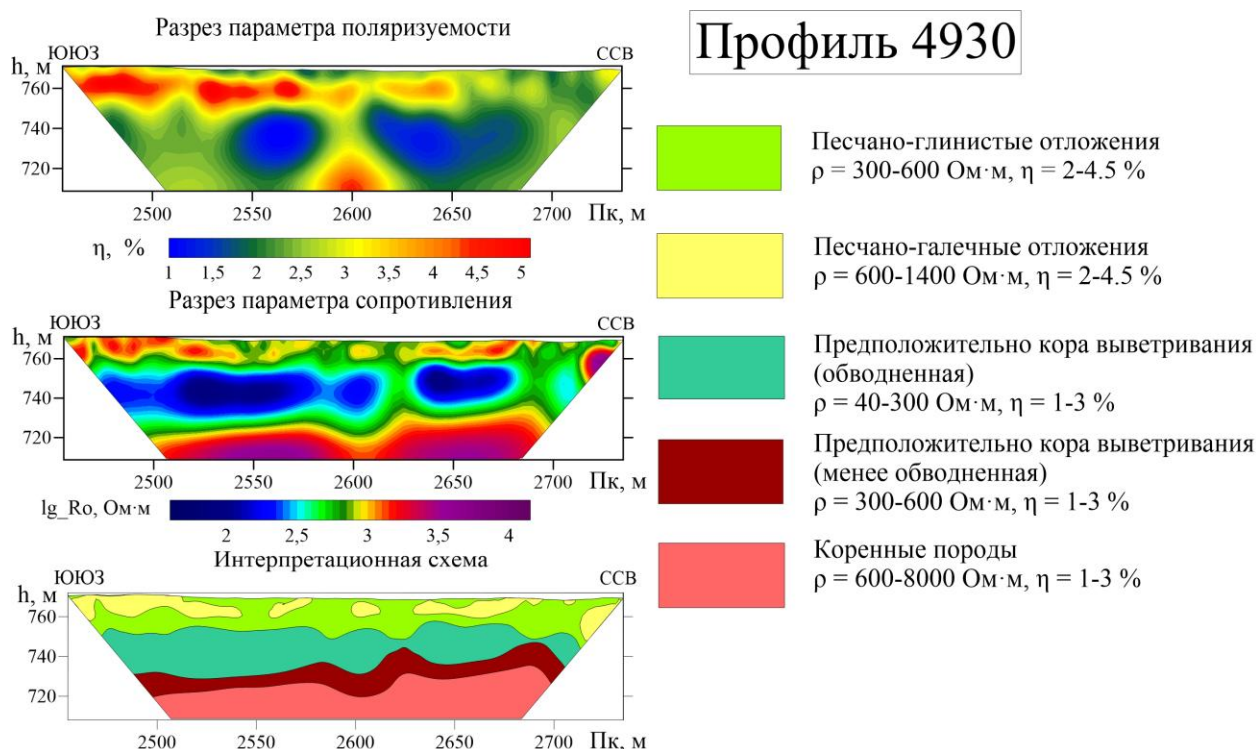


Рис. 5.3.2. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4930

Интерпретация

Первый слой сложен речными отложениями, состоящими преимущественно песчано-глинистым грунтом и галечником. Существенная неоднородность параметра УЭС слоя связано с наличием песчано-галечных отложений, отражающихся на разрезе как интервалы и области локального повышения УЭС и поляризуемости

Второй слой является зоной проводимости, связанной с высокой степенью обводненности в указанных пределах - кровля данного слоя маркирует уровень грунтовых вод. В связи с высокой обводненностью слоя интерпретировать состав и проводить границы в пределах данной зоны, без данных бурения, затруднительно, однако предположительно данный слой можно отнести к коре выветривания.

Третий указанный слой приурочен к неизменным породам кристаллического фундамента, на это указывает весьма высокие значения сопротивления в совокупности с несколько повышенным фоном поляризуемости. Отдельно стоит отметить понижение в рельефе фундамента, имеющую пространственную корреляцию с аномалией поляризуемости и локальной составляющей магнитного поля – данные факты указывают на место осаждения тяжелой фракции (в том числе магнетита).

Прослой, располагающийся между вторым и третьим слоем является продолжением коры выветривания (уже менее обводненной), на что указывает

расположение на поверхности фундамента и существенно более низкие значения параметра УЭС, по сравнению с фундаментом.

Магистраль 2590

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на магистрали 2590 меняются от 70 до 10000 Ом·м (рис.5.3.3).

Для приповерхностного слоя характерны выдержанная мощность (порядка 10 м) и средние значения УЭС (до 1500 Ом·м). Слой весьма неоднородный, сложен крупными блоками повышенного сопротивления с прослоями и промежутками среднего сопротивления.

Второй слой представлен обширной зоной проводимости мощностью до 30 м (высотные отметки 725-755 м), слой однородный с небольшим количеством малых промежутков со средними значениями сопротивления.

В нижней части разреза расположена область повышенного УЭС, верхняя кромка которого располагается на высотной отметке 740 м (нижняя кромка располагается за пределами области исследования) и круто опускается от центра разреза к его краям. На ПК 4950 имеется существенное понижение верхней кромки слоя за пределы области исследования.

Отдельно стоит отметить однородную зону проводимости, расположенную между ПК 5040-5100.

Также следует отметить малый слой, располагающийся между вторым и третьим слоем. Для этой структуры характерно равномерное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.5 до 7 % (рис.5.3.3).

На разрезе поляризуемости выделяется ряд изометричных аномалий со средними и высокими значениями поляризуемости. Ряд аномалий в приповерхностной части разреза составляют весьма неоднородный слой, расположенный между ПК 4900-5025. Также следует отметить крупную аномалию, имеющую пространственную корреляцию с понижением верхней кромки высокоомной области.

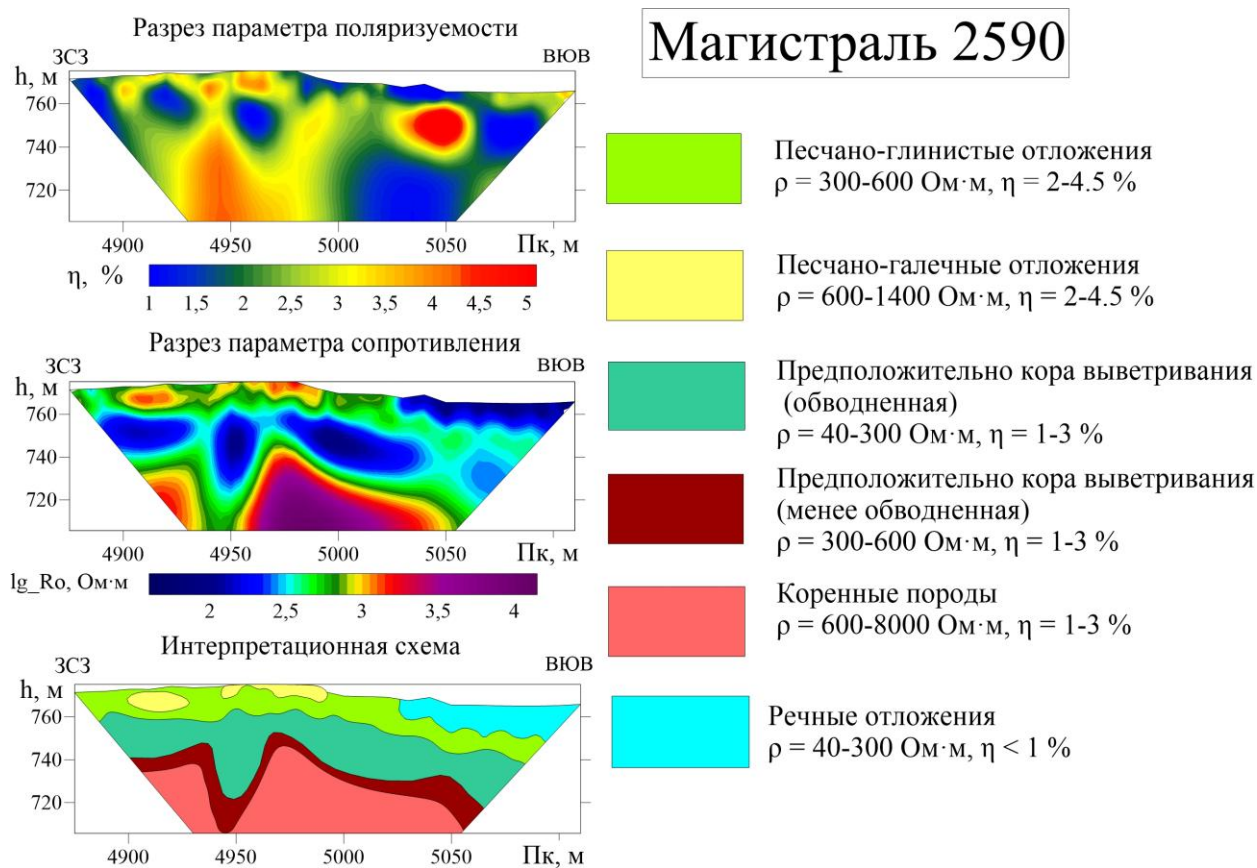


Рис. 5.3.3. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2590

Интерпретация

Первый слой сложен песчано-глинистыми отложениями в совокупности с крупнообломочным материалом (галечником). Высокая степень неоднородности данного комплекса на разрезах обоих параметров связана с неоднородным распределением поровой влаги, объема порового пространства и глинистого материала. Высокая амплитуда аномалий поляризуемости в данном слое связывается с наличием глинистого материала и диффузионно-адсорбционных процессов.

Отдельно стоит рассмотреть зону проводимости, расположенную у поверхности между ПК 5025 и 5110. Данный комплекс представляет собой аллювиальные отложения в старице (старом русле), которые слагаются преимущественно илами и глинами, среди которых также могут встречаться песчаные линзы и галечник.

Второй слой является зоной проводимости, маркирующей положение грунтовых вод в разрезе. В связи с высокой степенью обводненности данного слоя, интерпретация состава и локализация границ в пределах данного комплекса затруднены. Однако одним из возможных вариантов интерпретации – является предположение о распространении коры выветривания в данном интервале.

Третий слой представляет собой неизменные коренные породы, на что указывают высокие и однородно распределенные значения УЭС. Также следует отметить понижение в рельефе фундамента, коррелирующие в пространстве с аномалиями поляризуемости и аномалиями локальной составляющей магнитного поля. Данное понижение связывается с развитием линейной коры выветривания и является местом осаждения тяжелой фракции (в том числе магнетита).

Прослой, расположенный между вторым и третьим слоями, является частью площадной коры выветривания. На этот факт указывает расположение на поверхности кристаллического фундамента, а также значительно более низкие, по сравнению с коренником, значения УЭС.

Профиль 4980

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на профиле 4980 меняются от 60 до 4080 Ом·м (рис.5.3.4).

Первый слой характеризуется выдержанной мощностью (порядка 10 м), весьма неоднородным строением и широким диапазоном значений УЭС (от 400 до 3500 Ом·м).

Второй слой является обширной зоной проводимости, расположенной между высотными отметками 750м и 725 м. На краях разреза имеются малые интервалы среднего сопротивления.

Третьим слоем на разрезе выступает зона повышенного сопротивления, кровля которого располагается на высотных отметках 720-730, а подошва уходит за пределы области исследования. Слой характеризуется наиболее высоким, в рамках разреза, сопротивлением и однородным строением.

Также следует отметить малый слой, располагающийся между вторым и третьим слоем. Для этой структуры характерно равномерное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.7 до 6,7 % (рис.5.3.4).

На разрезе отмечается обширная аномалия поляризуемости в виде приповерхностного слоя, подошва которого располагается на высотных отметках 750-760 м. Также следует отметить высокоамплитудную аномалию между ПК 2470 и 2500.

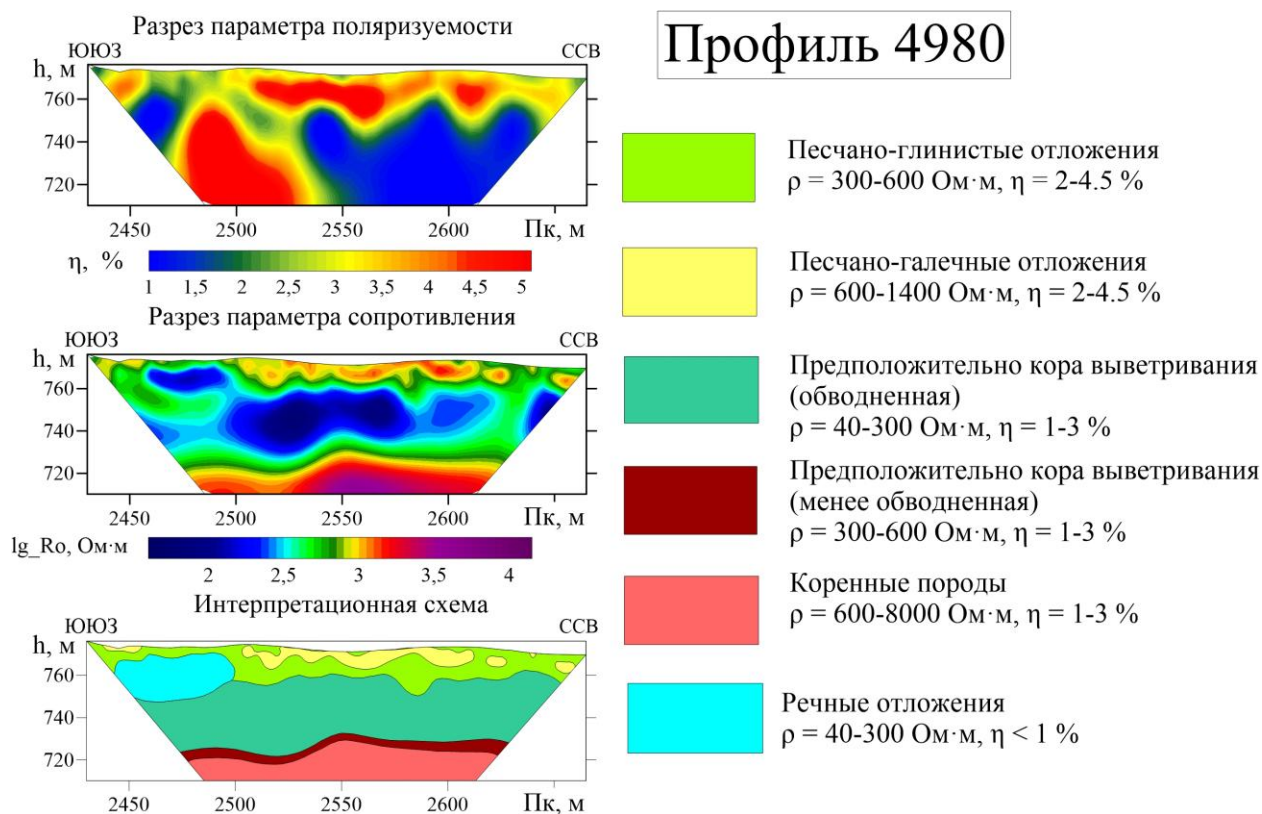


Рис. 5.3.4. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4980

Интерпретация

Первый слой сложен песчано-глинистыми отложениями в совокупности с крупнообломочным материалом (галечником). Высокая степень неоднородности данного комплекса на разрезах обоих параметров связывается зонами распространения песчано-галечных отложений, которые отражаются на разрезе как области повышенного УЭС и поляризуемости. Изменение фона УЭС в верхнем слое по латерали, следует из того, что съемка профиля проводилась в несколько дней – до дождей и после. Высокая амплитуда аномалий поляризуемости в данном слое связывается с наличием глинистого материала и диффузионно-адсорбционных процессов.

Отдельно стоит рассмотреть зону низких значений сопротивления, расположенную у поверхности между ПК 2440 и 2500. Данный комплекс представляет собой аллювиальные отложения в старице (старом русле), которые слагаются преимущественно илами и глинами, среди них также могут встречаться песчаные линзы и галечник.

Второй слой является зоной проводимости, маркирующей положение грунтовых вод в разрезе. В связи с высокой степенью обводненности данного слоя, интерпретация состава и локализация границ в пределах данного комплекса при отсутствии данных бурения имеет весьма вероятностный характер. Однако имеет место предположение о том, что данный слой является корой выветривания.

Третий слой представляет собой неизменные коренные породы, на что указывают высокие и однородно распределенные значения УЭС. Также следует отметить понижение в рельефе фундамента, коррелирующие в пространстве с аномалиями поляризуемости и аномалиями локальной составляющей магнитного поля. Данное понижение связывается с развитием линейной коры выветривания и является местом концентрации тяжелой фракции (в том числе магнетита).

Прослой, расположенный между вторым третьим слоями, является продолжением площадной коры выветривания. На этот факт указывает расположение на поверхности кристаллического фундамента, а также значительно более низкие, по сравнению с коренником, значения УЭС.

Магистраль 2540

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на магистрали 2540 меняются от 40 до 10000 Ом·м (рис.5.3.5).

Первым на разрезе УЭС выделяется приповерхностный слой с мощностью до 16 м (ПК 4970-5125) характеризующийся средними значениями рассматриваемого параметра, также для него характерно существенно неоднородное строение, представляющее собой совокупность большого количества высокоомных блоков различного размера, разграниченных более низкоомными областями и прослоями.

Второй крупный слой выделяется между высотными отметками 760-720м на протяжении всего профиля. Для данного слоя характерны существенно пониженные значения УЭС и также как для приповерхностного слоя, хоть и в меньшей степени имеет место неоднородность распределения параметра.

Третьим крупным слоем является слой, начинающийся на высотной отметке 730м и уходящий на глубину за пределы области наблюдения. Для него характерны наиболее высокие значения сопротивления в пределах разреза, однородно распределенные по латерали и плавно растущие с глубиной.

Также следует выделить еще одну меньшую зону, расположенную на границе второго и третьего слоев. Для неё характерны средние значения УЭС, малая мощность, однородное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

В том числе отдельно выделяется приповерхностная зона проводимости, расположенная между ПК 5125 и ПК 5200 мощностью в среднем 17 м. Для этой зоны характерны весьма низкие и однородно распределенные значения УЭС.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.5 до 5.2 % (рис.5.3.5).

На разрезе поляризуемости выделяется приповерхностный слой (ПК 4970-5125), характеризующийся весьма невыдержанной мощностью 5-25 м и высокой амплитудой до 5%. Также следует отдельно выделить наличие ряда аномалий с меньшими амплитудами расположенные на высотных отметках 740 и ниже. Прочее пространство в рамках разреза представлено однородными областями с весьма низкими значениями поляризуемости (порядка 1%)

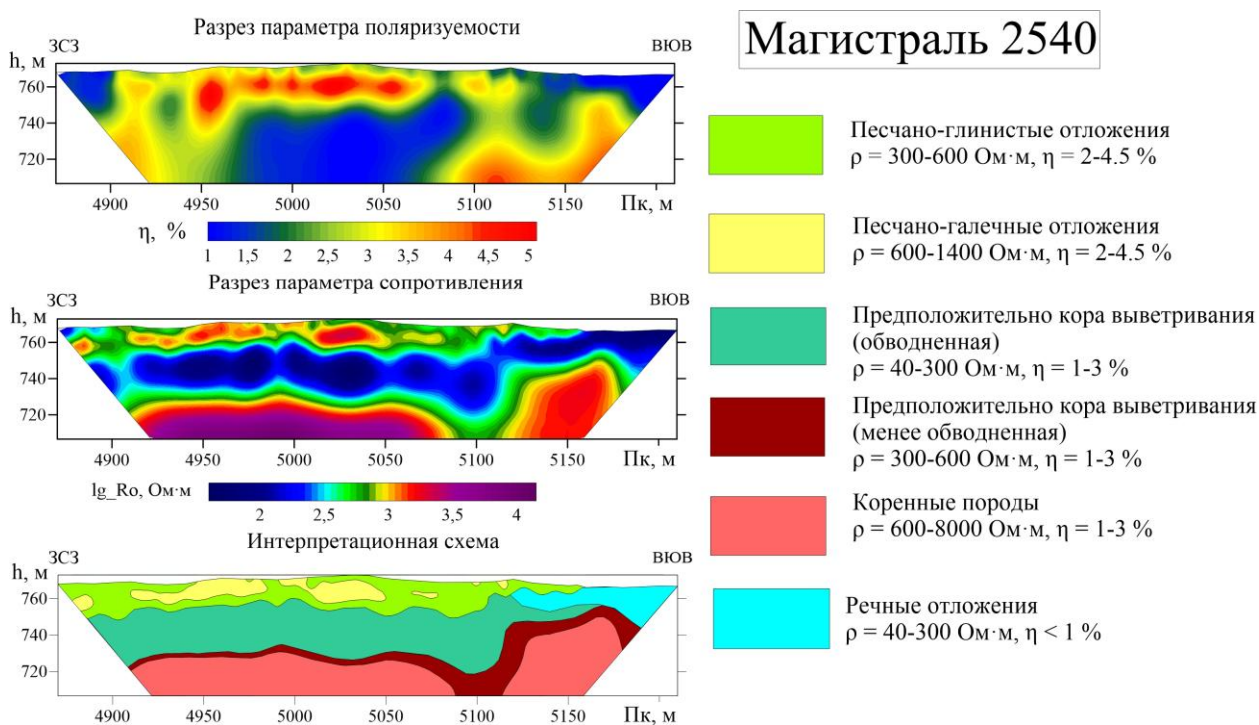


Рис. 5.3.5. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистральной 2540

Интерпретация

Первый слой сложен отложениями, состоящими из песчано-глинистого и крупнообломочного материала. Слой весьма неоднородный, данный факт связан с наличием зон распространения песчано-галечных отложений, на это указывают более высокие значения УЭС в пределах этих зон, а также зон локального повышения поляризуемости. Высокие значения поляризуемости связаны с наличием глинистого материала в грунте, а также диффузионно-адсорбционными процессами.

На ПК 5120-5210 по данным электроразведки выделяется зона речных отложений, связанная с пониженными значениями сопротивления. Она выходит на поверхность и, вероятно, является участком старого русла реки.

Второй слой является зоной проводимости, маркирующий границы грунтовых вод в разрезе. В связи с высокой степенью обводненности определение состава и локализация границ затруднена. Однако можно сделать предположение о том, что данный слой является обводненной корой выветривания.

Третий слой является комплексом неизменных пород кристаллического фундамента, на что указывают максимальные, в рамках разреза, значения УЭС. Интенсивные аномалии поляризуемости в нижней части разреза указывает на места осаждения тяжелой фракции, в том числе магнетита.

Прослой, расположенный между вторым и третьим слоями, является продолжением площадной коры выветривания. На этот факт указывает расположение на поверхности кристаллического фундамента, а также значительно более низкие, по сравнению с коренником, значения УЭС.

Участок 2

На участке 2 работы были выполнены по профилю 4570 и магистрали 2190.

Профиль 4570

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на профиле 4570 меняются от 90 до 4780 Ом·м (рис.5.3.6).

Первым на разрезе УЭС выделяется приповерхностный слой с мощностью до 20 м, простирающийся вдоль всего профиля и характеризующийся средними значениями рассматриваемого параметра, также для него характерно существенно неоднородное строение, представляющее собой совокупность большого количества высокоомных блоков различного размера, разграниченных более низкоомными областями и прослоями.

Второй крупный слой выделяется между высотными отметками 760-720м на протяжении всего профиля. Для данного слоя характерны существенно пониженные значения УЭС и также как для приповерхностного слоя, хоть и в меньшей степени имеет место неоднородность распределения параметра.

Третьим крупным слоем является слой, верхняя граница которого проходит на высотной отметке 730-720м. Для него характерны наиболее высокие значения сопротивления в пределах разреза. Этот слой уходит на глубину за пределы области наблюдения, таким образом, что на ПК 2080-2100 его уже не видно.

Также следует выделить еще одну меньшую зону, расположенную на границе второго и третьего слоев. Для неё характерны средние значения УЭС, малая мощность, однородное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 1.5 до 5.9 % (рис.5.3.6).

На разрезе поляризуемости выделяются области в приповерхностном слое (ПК 2040-2140), характеризующиеся высокой амплитудой более 5%. На ПК 2130 выделяется вертикальная аномальная зона повышенных значений поляризуемости с амплитудой до 4%. Прочее пространство в рамках разреза представлено однородными областями с фоновыми значениями поляризуемости от 1 до 3%.

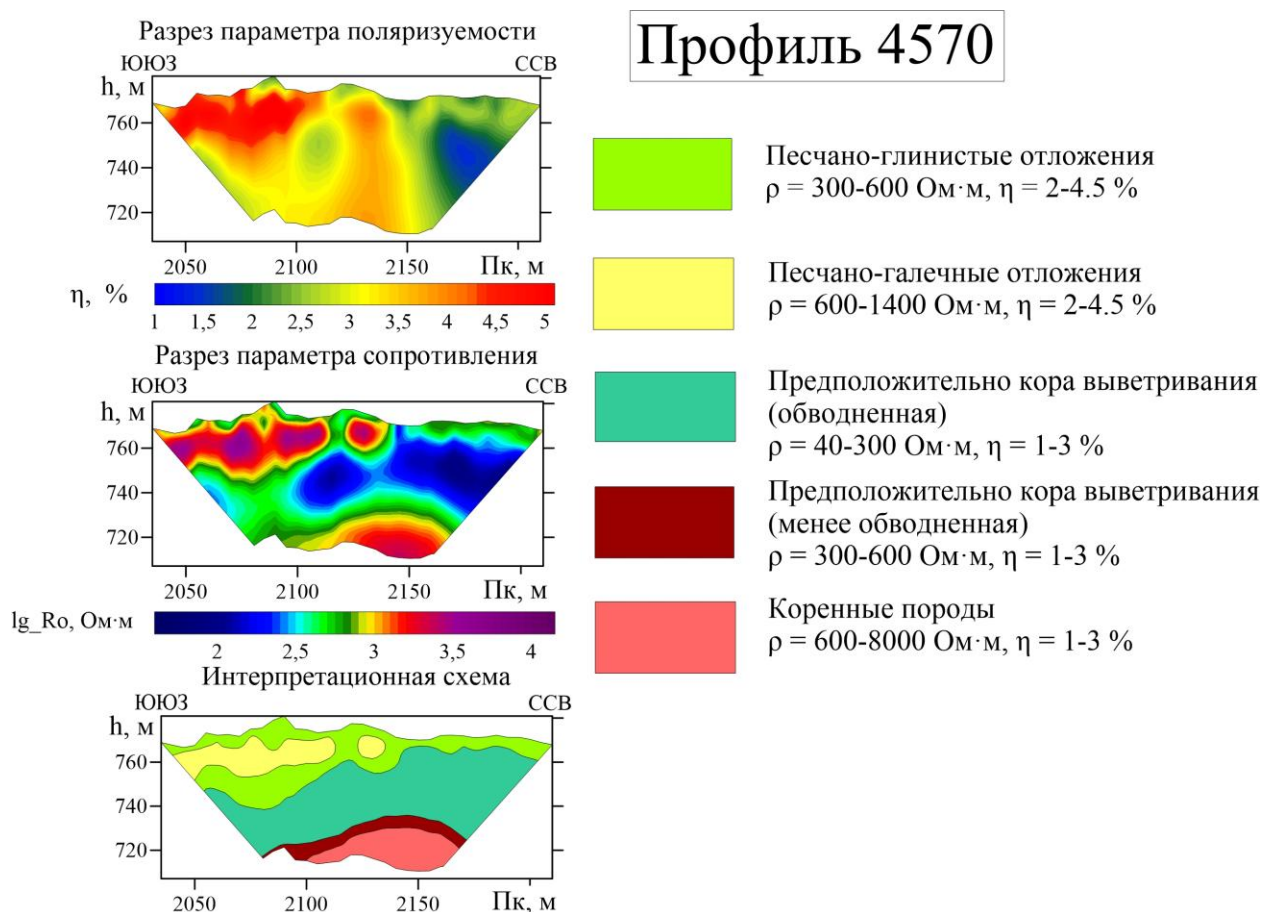


Рис. 5.3.6. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4570

Интерпретация

Профиль 4570 проходил перпендикулярно берегу реки, при этом крайний ПК 2210 находился прямо у берега. Верхний слой, выделяющийся по средним значениям сопротивления, представлен в геологическом разрезе песчано-глинистой фракцией. Видно, что слой на разрезе параметра УЭС имеет меньшую мощность, чем слой, который можно выделить по параметру поляризуемости. Это связано с обводненностью пород, находящихся ниже высотной отметки 760м. При этом высокая поляризуемость в данном случае связана большим количеством глинистых частиц в породе, а также свидетельствует о неоднородности слоя, то есть о различном размере частиц в породе. Верхнему слою присуща большая неоднородность, чем другим, что связано с влиянием таких факторов, как состав, обводненность определенных участков, минерализацию и т.д. Ближе к урезу воды (ПК 2140-2210) сопротивление заметно ниже. Аномально высокие значения сопротивления в верхней части разреза связаны с включением песчано-галечных отложений.

Низким сопротивлением как правило обладают наиболее обводненные, трещиноватые или глинистые участки разреза. Слой, выделяющийся на высотных

отметках 760-730 м вероятно имеет тот же состав что и верхний, но при этом сильно обводнен.

В вертикальном разрезе коры выветривания (снизу вверх) наблюдается четкая зональность – смена слабо измененных пород полностью переработанными продуктами выветривания. Слабо измененные породы имеют высокое сопротивление до 5000 Ом·м (нижний слой на разрезе), а верхняя часть коры выветривания может быть обводнена и иметь крайне низкое сопротивление.

На данном разрезе поверхность коренных пород погружается глубже ближе к ПК 2080, в той же области выделяется аномалия значений параметра поляризуемости. Вероятно, это связано с присутствием магнетита и других поляризующихся минералов, которые могут накапливаться в углублениях поверхности коренных пород и выделяться такого рода аномалиями. Аномальная вертикальная зона повышенных значений поляризуемости на ПК 2130 выделяется и по сопротивлению и может быть связана с предполагаемой зоной трещиноватости.

Магистраль 2190

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на магистрали 2190 меняются от 60 до 1920 Ом·м (рис.5.3.7).

Первым на разрезе УЭС выделяется приповерхностный слой с мощностью до 15 м (ПК 4485-4615) характеризующийся средними значениями рассматриваемого параметра, также для него характерно существенно неоднородное строение, представляющее собой совокупность большого количества блоков различного размера, разграниченных более низкоомными областями и прослоями.

Второй крупный слой выделяется между высотными отметками 760-740м на протяжении всего профиля. Для данного слоя характерны существенно пониженные значения УЭС и также как для приповерхностного слоя, хоть и в меньшей степени имеет место неоднородность распределения параметра.

Третьим крупным слоем является слой, верхняя граница которого проходит на высотной отметке 730м. Для него характерны наиболее высокие значения сопротивления в пределах разреза. Этот слой уходит на глубину за пределы области наблюдения.

Также следует выделить еще одну меньшую зону, расположенную на границе второго и третьего слоев. Для неё характерны средние значения УЭС, малая мощность,

однородное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 1.1 до 3.5 % (рис.5.3.7).

На разрезе поляризуемости выделяется приповерхностный слой (ПК 4485-4615), характеризующийся невыдержанной мощностью 5-10 м и амплитудой до 3%. На ПК 4550-4620 выделяется зона относительно повышенных значений поляризуемости с амплитудой до 3,5%. Прочее пространство в рамках разреза представлено однородными областями с весьма низкими значениями поляризуемости (порядка 1%).

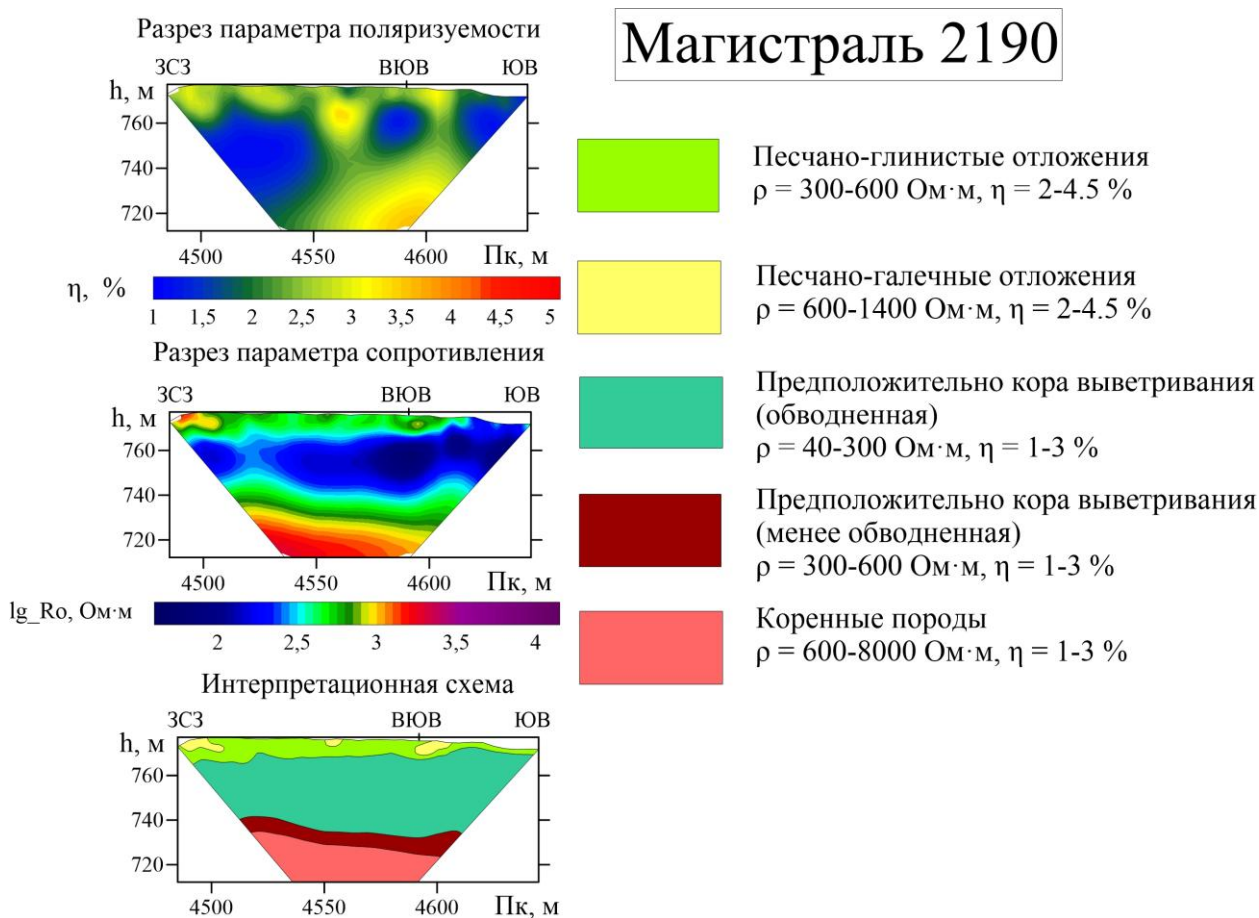


Рис. 5.3.7. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2190

Интерпретация

Магистраль 2190 проходила вдоль берега реки, поэтому общий уровень сопротивлений относительно других разрезов достаточно низкий. Верхний слой, выделяющийся по средним значениям сопротивления, представлен в геологическом разрезе песчано-глинистой фракцией. Видно, что слой на разрезе параметра УЭС имеет

меньшую мощность, чем слой, который можно выделить по параметру поляризуемости. Это связано с обводненностью пород, находящихся ниже высотной отметки 760м. При этом высокая поляризуемость в данном случае связана с большим количеством глинистых частиц в породе, а также свидетельствует о неоднородности слоя, то есть о различном размере частиц в породе. Верхнему слою присуща большая неоднородность, чем другим, что связано с влиянием таких факторов, как состав, обводненность определенных участков, минерализация и т.д. Ближе к урезу воды сопротивление заметно ниже. Аномально высокие значения сопротивления в верхней части разреза связаны с включением песчано-галечных отложений.

Низким сопротивлением как правило обладают наиболее обводненные, трещиноватые или глинистые участки разреза. Второй слой, выделяющийся на высотных отметках 760-740 м, вероятно, имеет тот же состав, что и верхний, но при этом сильно обводнен.

В вертикальном разрезе кор выветривания (снизу вверх) наблюдается четкая зональность – смена слабо измененных пород полностью переработанными продуктами выветривания. Слабо измененные породы имеют высокое сопротивление до 5000 Ом·м (нижний слой на разрезе), а верхняя часть коры выветривания может быть обводнена и иметь крайне низкое сопротивление.

На данном разрезе поверхность коренных пород погружается глубже ближе к ПК 4600, в той же области выделяется аномалия значений параметра поляризуемости. Вероятно, это связано с присутствием магнетита и других поляризующихся минералов, которые могут накапливаться в углублениях поверхности коренных пород и выделяться такого рода аномалиями.

Участок 3

На участке 3 работы были выполнены по профилю 5290 и магистрали 2480. При этом магистраль и профиль расположены перпендикулярно друг другу.

Профиль 5290

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на профиле 5290 меняются от 60 до 7400 Ом·м (рис.5.3.8).

Первым на разрезе УЭС выделяется приповерхностный слой с мощностью около 20 м, простирающийся вдоль всего профиля. Он утончается лишь на ПК 2385-2420 в связи с понижением в рельефе до отметки 760м. Этот слой характеризуется средними значениями рассматриваемого параметра. В пределах этого слоя можно выделить более высокоомные области. Их распределение крайне неравномерно и представляет собой совокупность большого количества блоков различного размера, разграниченных более низкоомными прослоями.

Второй крупный слой выделяется между высотными отметками 760-730м на протяжении всего профиля. Для данного слоя характерны существенно пониженные значения УЭС и также как для приповерхностного слоя, хоть и в меньшей степени имеет место неоднородность распределения параметра.

Третьим крупным слоем является слой, верхняя граница которого проходит на высотной отметке 730м. Для него характерны наиболее высокие значения сопротивления в пределах разреза. Этот слой уходит на глубину за пределы области наблюдения.

Также следует выделить ещё одну меньшую зону, расположенную на границе второго и третьего слоев. Для неё характерны средние значения УЭС, малая мощность, однородное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.4 до 10 % (рис.5.3.8).

На разрезе поляризуемости выделяется приповерхностный слой, мощность которого уменьшается к ПК 2400 в связи с понижением в рельефе до отметки 760 м. Мощность этого слоя достигает 5-30 м, а амплитуда более 5%. В некоторых областях разреза (на ПК 2390-2420, ПК 2475-2540) зоны повышенных значений поляризуемости с амплитудой 3-4% распространяются вниз, выходя за пределы наблюдаемого разреза.

Прочее пространство в рамках разреза представлено однородными областями с весьма низкими значениями поляризуемости (порядка 1%).

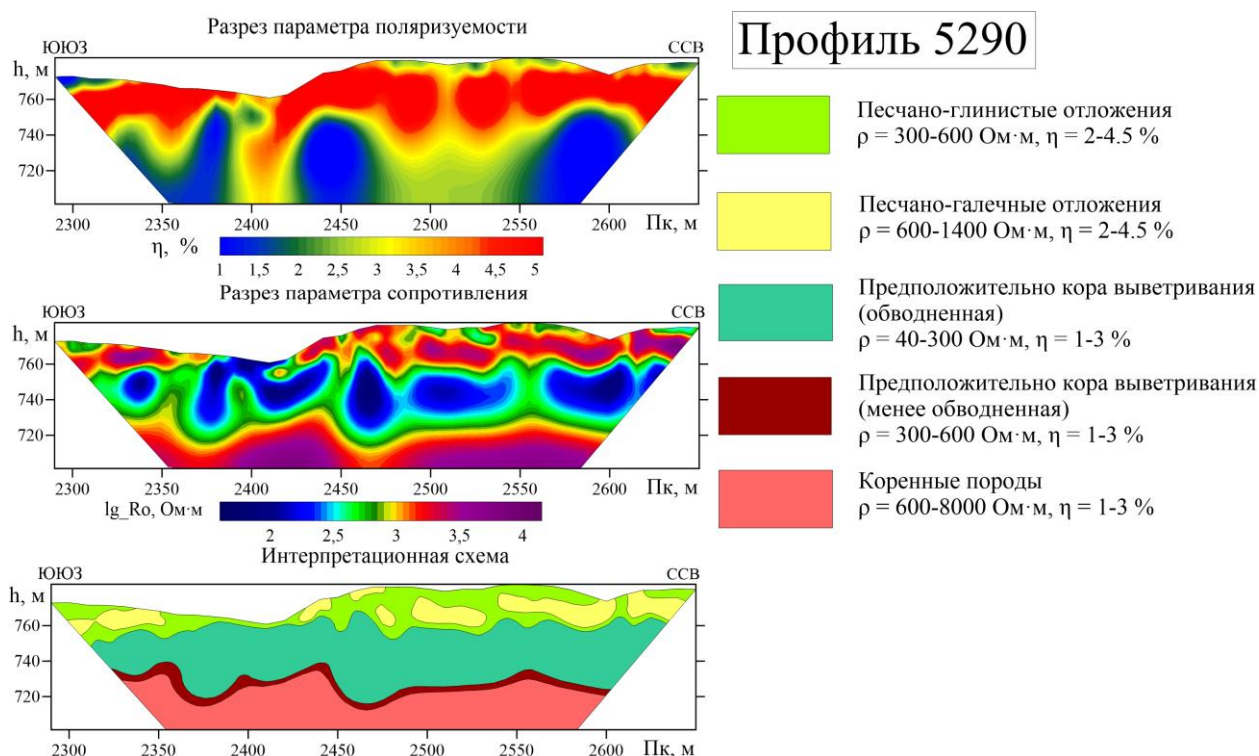


Рис. 5.3.8. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 5290

Магистраль 2480

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на магистрали 2480 меняются от 70 до 7630 Ом·м (рис.5.3.9).

Первым на разрезе УЭС выделяется приповерхностный слой с мощностью около 20 м, простирающийся вдоль всего профиля. Этот слой характеризуется средними значениями рассматриваемого параметра. В пределах этого слоя можно выделить более высокоомные области. Их распределение крайне неравномерно и представляет собой совокупность большого количества блоков различного размера, разграниченных более низкоомными прослоями.

Второй крупный слой выделяется между высотными отметками 750-730м на протяжении всего профиля. Для данного слоя характерны существенно пониженные значения УЭС и также как для приповерхностного слоя, хоть и в меньшей степени имеет место неоднородность распределения параметра.

Третьим крупным слоем является слой, верхняя граница которого проходит на высотной отметке 730м. Для него характерны наиболее высокие значения сопротивления в пределах разреза. Этот слой уходит на глубину за пределы области наблюдения.

Также следует выделить еще одну меньшую зону, расположенную на границе второго и третьего слоев. Для неё характерны средние значения УЭС, малая мощность, однородное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются от 0.4 до 9% (рис.5.3.9).

На разрезе поляризуемости выделяется приповерхностный слой, простирающийся вдоль всего профиля, характеризующийся мощностью около 30 м и высокой амплитудой более 5%. Прочее пространство в рамках разреза представлено однородными областями с весьма низкими значениями поляризуемости (порядка 1%).

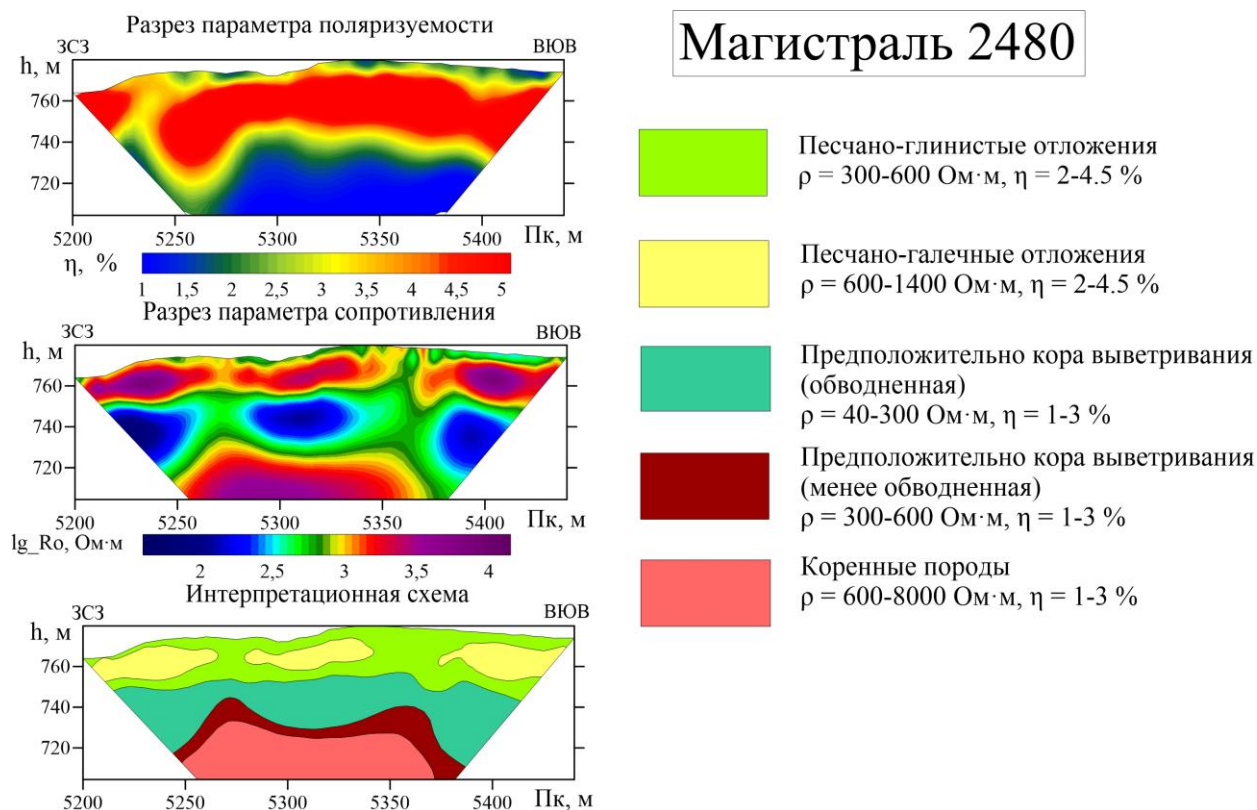


Рис. 5.3.9. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по магистрали 2480

Интерпретация

5290-2480

Верхний слой, включающий области аномально повышенного сопротивления, представлен в геологическом разрезе песчано-глинистой фракцией с прослоями песчано-

галечных отложений. Видно, что слой на разрезе параметра УЭС имеет меньшую мощность, чем слой, который можно выделить по параметру поляризуемости. Это связано с обводненностью пород, находящихся ниже высотной отметки 760 м. При этом высокая поляризуемость в данном случае связана большим с количеством глинистых частиц в породе, а также свидетельствует о неоднородности слоя, то есть о различном размере частиц в породе. Верхнему слою присуща большая неоднородность, чем другим, что связано с влиянием таких факторов, как состав, обводненность определенных участков, минерализацию и т.д.

Низким сопротивлением как правило обладают наиболее обводненные, трещиноватые или глинистые участки разреза. Слой, выделяющийся на высотных отметках 760-730 м обводнен, поэтому расчленение его на более мелкие прослои по сопротивлению невозможно. Однако по разрезу параметра поляризуемости видно, что нижняя часть этого слоя отличается от верхней, породы верхней части проводящего слоя поляризуются, а нижней – нет.

В вертикальном разрезе кор выветривания (снизу вверх) наблюдается четкая зональность – смена слабо измененных пород полностью переработанными продуктами выветривания. Слабо измененные породы имеют высокое сопротивление до 8000 Ом·м (нижний слой на разрезе), а верхняя часть коры выветривания может быть обводнена и иметь крайне низкое сопротивление.

Участок 4

Участок 4 был расположен на левом берегу реки Sandratsio. Были проведены измерения по профилю 4730.

Профиль 4730

Разрез параметра УЭС

Значения сопротивлений (ρ_k) на профиле 4730 меняются от 130 до 4080 Ом·м (рис.5.3.10).

Первый слой представляет собой приповерхностную линейно-вытянутую аномалию УЭС, распространенную по всей длине разреза. Слой весьма неоднородный – состоит из совокупности крупных блоков высокого сопротивления, разграниченных участками с пониженным сопротивлением.

Второй слой является обширной зоной проводимости, расположенной между высотными отметками 740 и 720 м. Следует отметить ряд малых аномалий, имеющих средние значения сопротивления.

В нижней части разреза расположен третий слой с наибольшими, в рамках разреза значениями сопротивления. Кровля слоя располагается на высотных отметках 715-720 м, за исключением области понижения (ПК 2450-2500), в котором кровля выходит за пределы области исследования.

Также следует отметить малый слой, располагающийся между вторым и третьим слоем. Для этой структуры характерно равномерное распределение параметра по латерали и плавное изменение в вертикальной плоскости.

Разрез параметра поляризуемости

Значения кажущейся поляризуемости (η_k) меняются в диапазоне от 0.4 до 5.9 % (рис.5.3.10).

На разрезе поляризуемости выделяется приповерхностный слой, характеризующийся повышенной поляризуемостью, подошва которого располагается на высотной отметке 740 м. Также на разрезе присутствуют две высокоамплитудные аномалии, расположенные между ПК 2340 и 2420, 2500 и 2550.

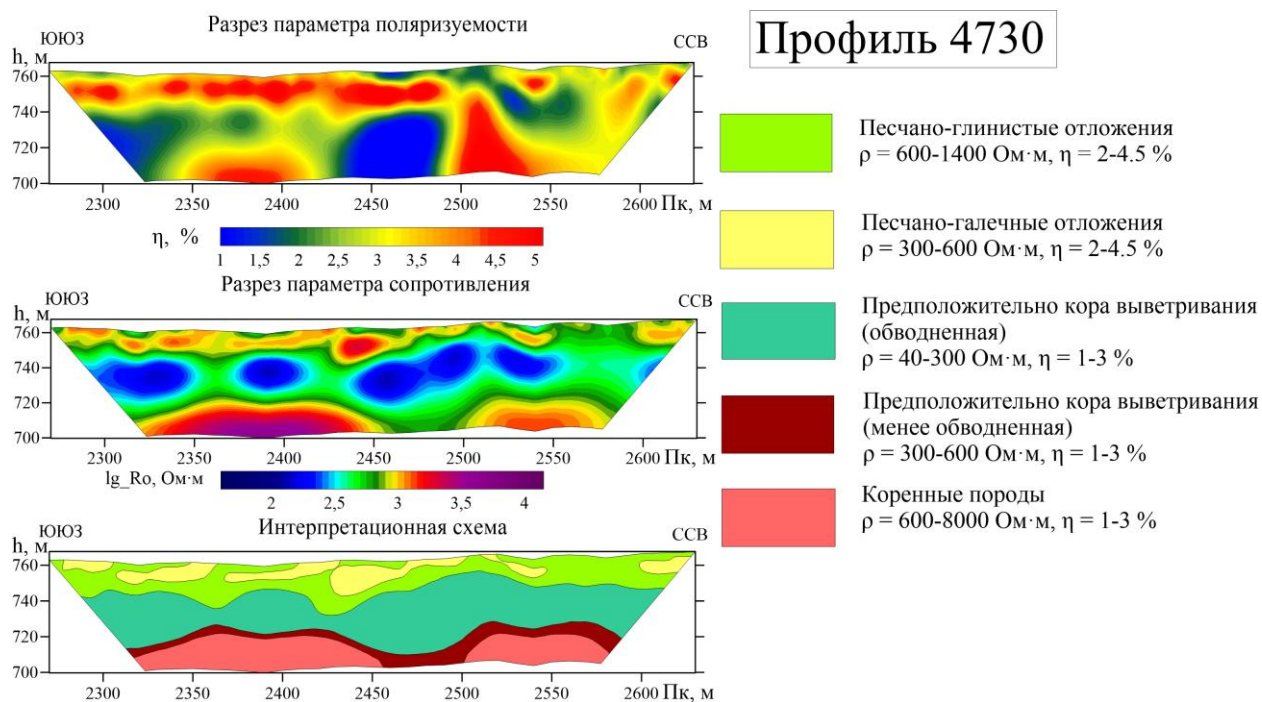


Рис. 5.3.10. Разрезы УЭС, поляризуемости и интерпретационная схема по профилю 4730

Интерпретация

Первый слой сложен песчано-глинистыми речными отложениями и галечником. На разрезе параметра УЭС наблюдается существенная неоднородность слоя, связанная с наличием зон распространения песчано-галечных отложений, характеризующихся весьма высокими показателями УЭС и поляризуемости. Для слоя характерны весьма высокие показатели поляризуемости связанные с наличием глинистого материала и диффузионно-адсорбционных процессов.

Второй слой является зоной проводимости, ограниченной сверху уровнем грунтовых вод, а снизу неизменным кристаллическим фундаментом и корой выветривания. В связи с высокой степенью обводненности данного слоя интерпретация состава и локализация границ в пределах слоя затруднены. Однако возможно связать данный слой с распространением кор выветривания в рассматриваемом интервале.

Третий слой интерпретируется как массив неизменных коренных пород – на данный факт указывают максимальные, в рамках разреза, значения УЭС. Также следует отметить наличие интенсивных аномалий поляризуемости в нижней части разреза, связанных предположительно с местами концентрации тяжелой фракции (в том числе магнетита).

Прослой, расположенный между вторым и третьим слоями, вероятно, является площадной корой выветривания, на данный факт указывает относительно низкие значения УЭС и расположение на фундаменте.

Выводы по электроразведке

– Понижения, выделенные в рельефе поверхности коренных пород, коррелирующие в пространстве с аномалиями поляризуемости и аномалиями локальной составляющей магнитного поля, связываются с развитием линейной коры выветривания и является местом осаждения тяжелой фракции (в том числе магнетита).

– По электрическим разрезам выделена нижняя кромка площадной коры выветривания, верхнюю кромку сложно достоверно идентифицировать в связи с обводненностью среднего слоя разреза.

– Магистралы 2590 и 2540 пересекли старое русло реки, заполненное проводящим гумусовым слоем (илы, органика) и выходящим на поверхность на высотной отметке 760м.

– Верхний слой разреза сложен песчано-глинистыми и песчано-галечными аллювиальными отложениями. Данные о сопротивлении пород позволяют выделить более глинистые области (более проводящие) и области с большим содержанием крупнообломочного материала (менее проводящие).

– Старательские выработки сконцентрированы преимущественно в областях высокого сопротивления и поляризуемости, выделяющихся в верхнем слое и обозначенных на интерпретационной схеме как песчано-галечные отложения с соответствующими параметрами.

Глубина верхней кромки, глубина нижней кромки и мощность продуктивного горизонта могут варьироваться по длине профиля. Пределы, в которых варьируются данные параметры, указаны в таблице 11. Более точно информация представлена на интерпретационных схемах (рис. 5.3.2-5.3.10).

Таблица 11. Положение перспективных интервалов в разрезе

ПР, МГ	4930	2590	4980	2540	4570	2190	2480	5290	4730
Верхняя кромка	1-5м	1м	1-4м	1-5м	2-6м	1-2м	1-7м	1-7м	1-5м
Нижняя кромка	5-9м	3-9м	3-8м	5-14м	14-22м	1-6м	15-22м	3-15м	6-20м
Мощность	2-10м	1-9м	2-8м	2-10м	8-18м	3-5м	4-16м	2-9м	4-15м

5.4 Геологические работы

Согласно имеющейся мелкомасштабной геологической карте (рис.5.4.1), территория района работ и всей лицензионной площади сложена парагнейсами и плагиогнейсами, лептинитами, реже амфиболитами, пироксенитами и кварцитами с гранатом, силлиманитом и дистеном катархейского возраста. Непосредственно к югу и северу от лицензионной площади были открыты в 1998-2006 гг. два месторождения аллювиальных россыпных благородных корундов – рубина и сапфира. Это месторождение рубинов Muramango в 1,5-2 км от южной границы лицензии в долине среднего течения р. Sahaleone, устье которой находится на территории участка работ. И месторождение Faranambu, которое находится в 5 км ниже по реке Sandratsio от деревни Anceraka, в 2 км от северной границы участка и расположено в среднем течении реки Faranambu.

В соответствии с этим на предварительной стадии работ была выбрана физико-геологическая модель данных месторождений, как исключительно аллювиальных и образовавшихся за счет последующего перемыва и обогащения корундоносных кор выветривания по архейским продуктивным гнейсам. То есть изначально метаморофогенный аллювиальный промышленно-генетический тип месторождений [4].

Поэтому в ходе проведения ограниченного объема маршрутных работ основное внимание было сосредоточено на геолого-геоморфологической характеристике площади и документации доступных разрезов аллювиальных отложений. И лишь небольшой объем наблюдений был проведен по имеющимся обнажениям коренных пород практически исключительно по правому берегу реки Sandratsio.

В результате проведенных геологических маршрутов и в процессе GPS-привязки спектрометрических профильных наблюдений была составлена структурно-геоморфологическая схема с выделением по высотным отметкам двух надпойменных террас, пойменных и русловых отложений (рис. 5.4.2).

Однако, в результате проведенных геологических работ было выяснено следующее:

- Коренные породы изучаемой площади представлены преимущественно (по всем изученным обнажениям) кварц-биотит-полевошпатовыми гнейсами (плагиогнейсами) с большим количеством граната (до гранатитов) и вероятно с амфиболом. Дистен и силлиманит встречался только в

единичных случаях в тяжелой фракции щлихов. Корунд в гнейсах не отмечен.

- Преобладают две системы элементов залегания гнейсовидности. Это системы 1) Азимут падения 160-170°, угол падения 20-30° и 2) Азимут падения 230-240°, угол падения 20-30°. То есть основное простирание гнейсовидности СВ 70-80° и СЗ 320-330° с общим пологим падением в ЮЗ и ЮВ румбах. По-видимому, это связано с изоклинальной складчатостью в метаморфических гнейсах.
- Магистральное направление гидросети района работ и, соответственно, площадь развития аллювиальных отложений реки Sandratsio использует примерно одно из этих направлений простирания гнейсовидности – СЗ 320-330°.
- Второе преобладающее направление развития гидросети (по левым и правым притокам реки Sandratsio) – это направление СВ 20-30°. Вероятно, это связано с развитием зон тектонических дислокаций, используемых вторичной гидросетью.
- Все известные обнажения коренных пород в пределах данного локального участка работ сосредоточены на правом берегу реки Sandratsio. Вероятно, они есть и на левом, но в гораздо меньшем количестве и за пределами данной площади. Кроме этого, левый берег этой реки существенно более пологий и в целом характеризуется меньшими высотными отметками. Можно предположить, что это как-то связано с различиями в геологическом строении обоих берегов реки Sandratsio.
- Все известные старательские разработки корундов (рубинов и сапфиров) сосредоточены в пределах ориентировочно отрисованных (рис. 5.4.2) первой надпойменной террасы и, частично, в пределах пойменных (долинных) отложений [13]. Однако, существует и большое поле старательских отработок (в виде дудок) в пределах второй надпойменной террасы на востоке изучаемой площади. Поэтому не исключено существование и третьей надпойменной террасы. Некоторые основания к этому дают разработки на самом крайнем востоке территории.
- Помимо этого, все известные разработки приурочены к характерному меандроподобному изгибу реки Sandratsio (рис. 5.4.2), когда направление её

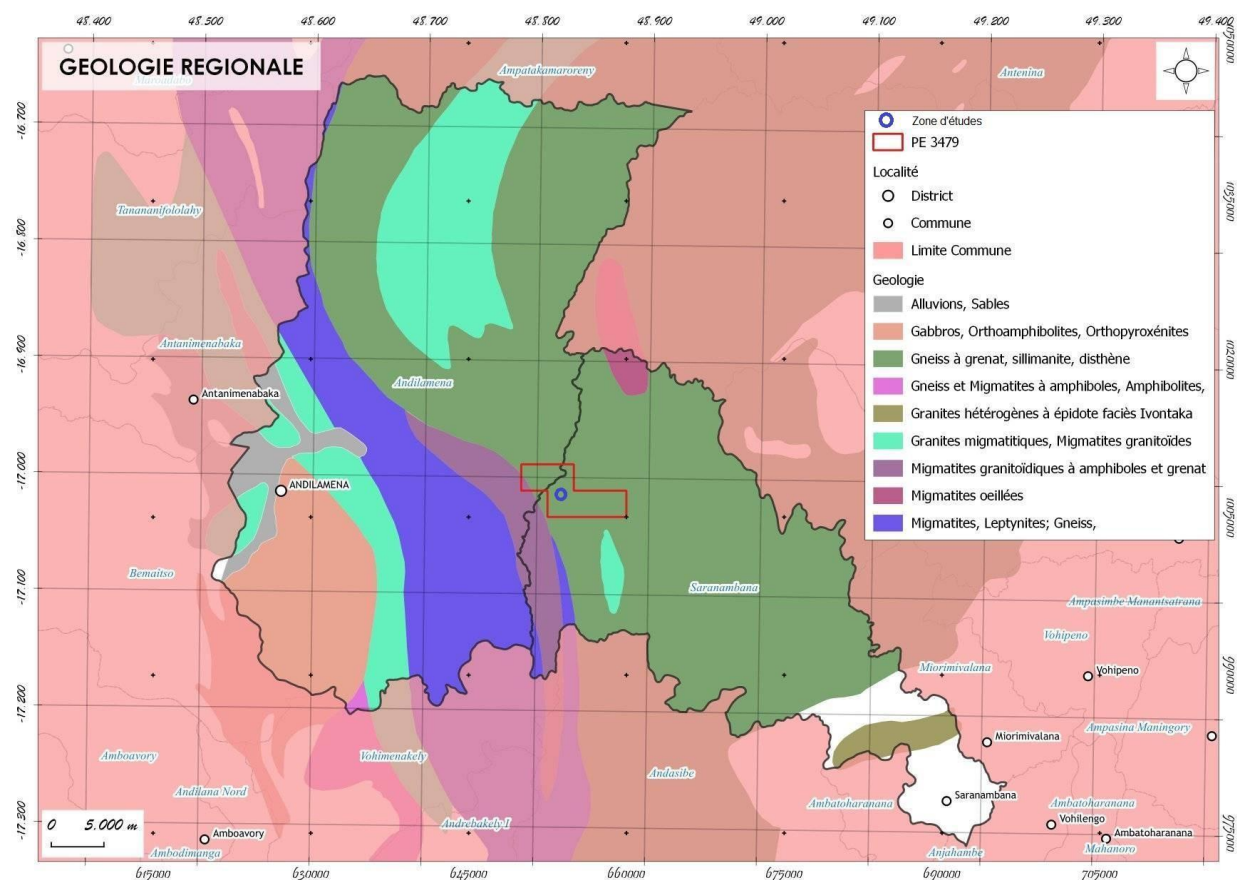


Рис. 5.4.1. Расположение лицензионной площади на геологической карте [15]

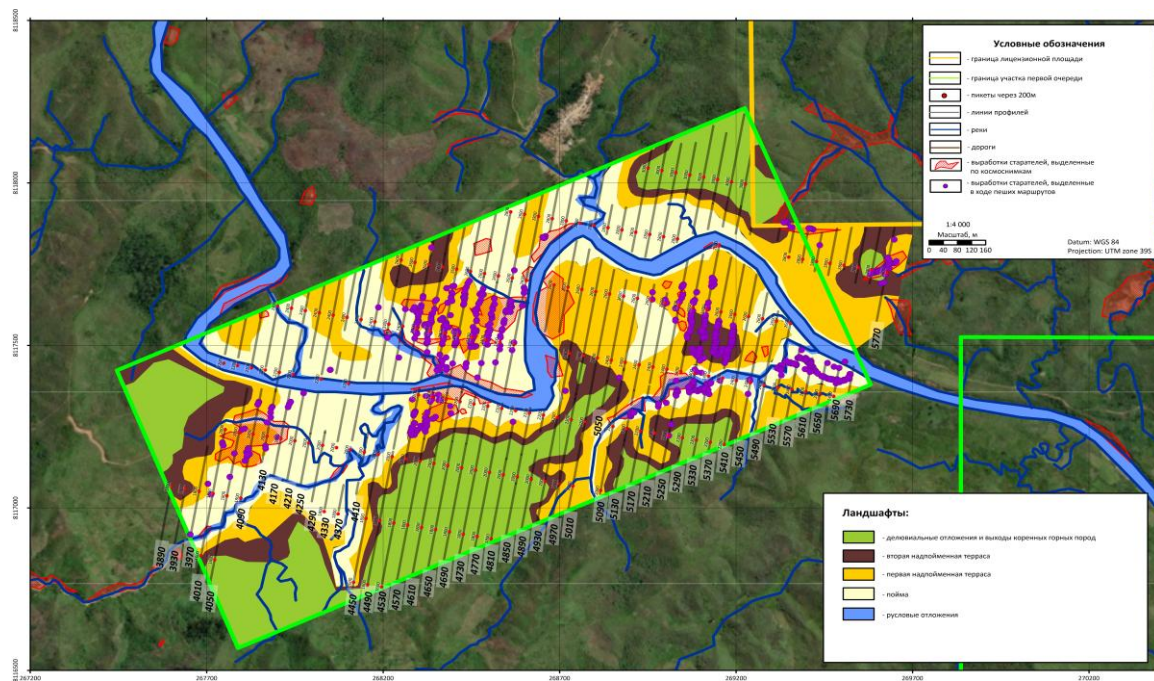


Рис. 5.4.2. Структурно-геоморфологическая схема

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать основной вывод, имеющий важное поисковое значение для данной территории. Физико-геологическая модель россыпей благородного корунда должна, по всей видимости, опираться на предположение о существовании определенных зон в площадной коре выветривания по гнейсам, изначально обогащенных данным полезным компонентом до её перемыва современной гидросетью и образования имеющихся россыпей.

То есть вместо изначально метаморфогенного промышленно-генетического типа следует рассмотреть и учесть в процессе дальнейших поисковых работ возможность присутствия на данной территории либо щелочно-пегматитового, либо плагиоклазитового и слюдитово-метасоматитового в ультраосновных породах промышленно-генетического типа [4]. Вероятность наличия таких промышленно-генетических типов весьма высока в связи, с одной стороны, с широким распространением на сопредельных территориях месторождений, связанных с различными типами пегматитов (пьезокварца, оптического кварца, мусковита – рис.5.4.3), а с другой, с присутствием в данном регионе ультраосновных и основных интрузий (рис.5.4.1).

В связи с этим возможное наличие зон тектонических дислокаций ССВ простирания приобретает для данной территории особенное значение. Их дешифрирование на ранних этапах поисковых работ может принести весьма ощутимые результаты.



Рис. 5.4.3. Расположение месторождений индустриального сырья севера Мадагаскара (красным показан район работ)

6. КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

По результатам геологической съемки сделано предположение, что кварц-биотит полевошпатовые гнейсы (рис.6.1.) возможно содержат в себе участки, изначально обогащенные корундом (пегматитовые или плагиоклазитовые тела северо-северо-восточного направления). Из которой, в результате работы современной гидросети, вымывается полезный компонент.



Рис. 6.1. Корунды в материнской породе

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о важности роли современной гидросети при поисках благородных корундов.

Большое значение имеет направление гидросети, так основные старательские разработки (Faranambu, Muamango) расположены вдоль сети, направленной на ССВ. Необходимо помнить, что в геоморфологическом плане образование речной сети может быть тесно связано с областями тектонических дислокаций, что является важным рудоконтролирующим фактором.

На участке работ, как упоминалось в гл. 5.1., выделяется ряд аномалий, связанных с повышенными значениями магнитного поля ССВ направления, которые в плане совпадают с резкими перегибами реки Sandratsio. Что в целом можно считать подтверждением связи данного направления с тектоническими дислокациями. Немаловажно, что именно вблизи данного направления магнитных аномалий сконцентрированы основные старательские выработки на участке. Также, важно упомянуть, что в результате количественного анализа направления распространения магнитных структур, был сделан вывод, что ССВ тренд из встречаемых наиболее молодой.

В результате комплексной интерпретации площадных работ, выполнена корректировка выделяемых перспективных областей методами магниторазведки и гамма-спектрометрии (рис.6.2.).

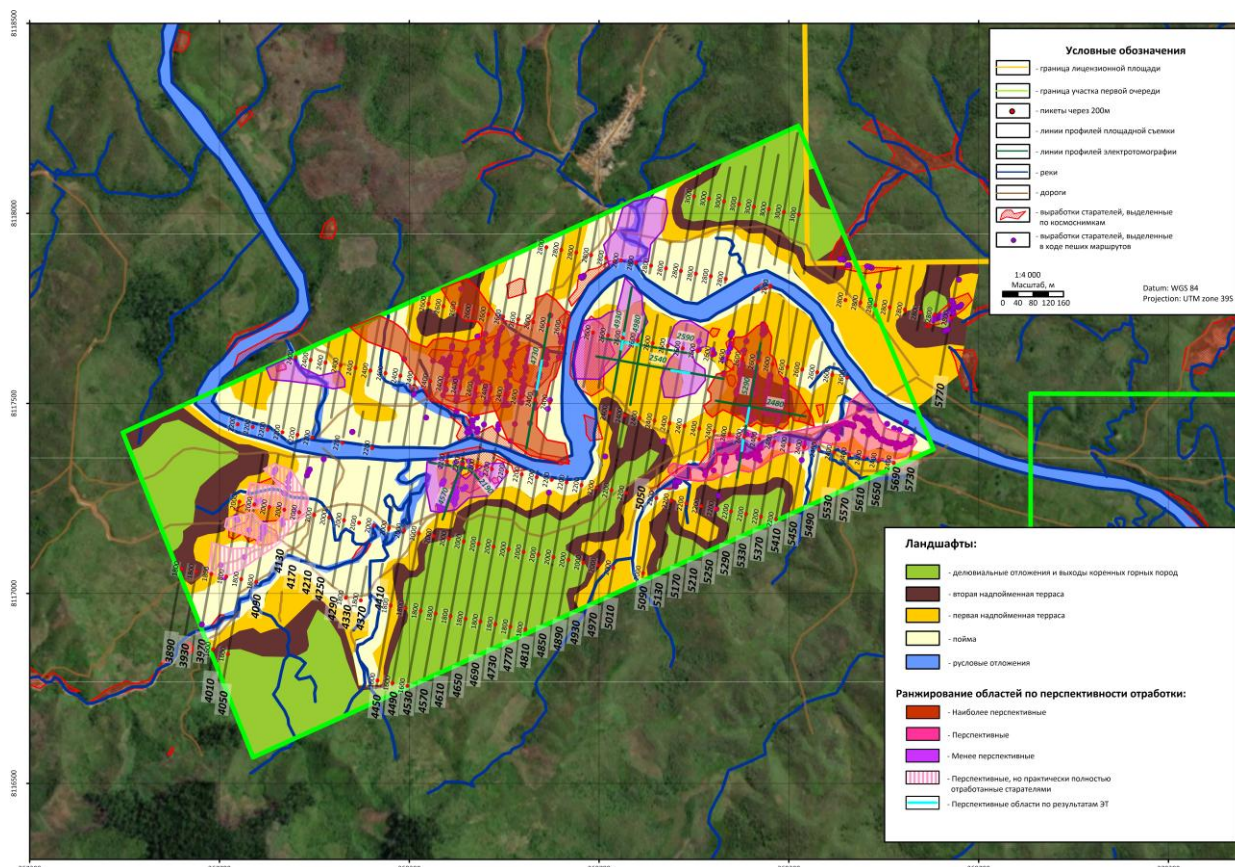


Рис. 6.2. Структурно-корреляционная карта

Предлагаются к заверке следующие области:

1. Выделяемые красным цветом, наиболее перспективные. Рекомендуются к заверке в первую очередь. В данных областях идут активные старательские работы. В геоморфологическом плане преимущественно залегают на первой надпойменной террасе. По геофизическим данным отличаются контрастными аномалиями МП и U, Th. Заверены профилями электрогеографии – вдоль профилей выделяются участки наиболее перспективные на обнаружения россыпей благородных корундов, которые маркируются повышенными значениями УЭС и дифференциальной поляризуемости, которые могут быть связаны с гравийно-галечными отложениями.
2. Выделяемые розовым цветом, перспективные. Преимущественно располагаются в пойменных отложениях. Нередки старательские отработки. В данной области практически не проводились работы методом ЭТ, но

единичный профиль, секущий данную область (ПР5290), показал хорошие результаты.

3. Сомнительные области, имеют схожие черты с предыдущими – повышенные значения МП, и U, Th. На данных областях не замечено старательских работ. В некоторых областях есть положительные тренды использования метода ЭТ.
4. Области, практически полностью отработанные старателями.

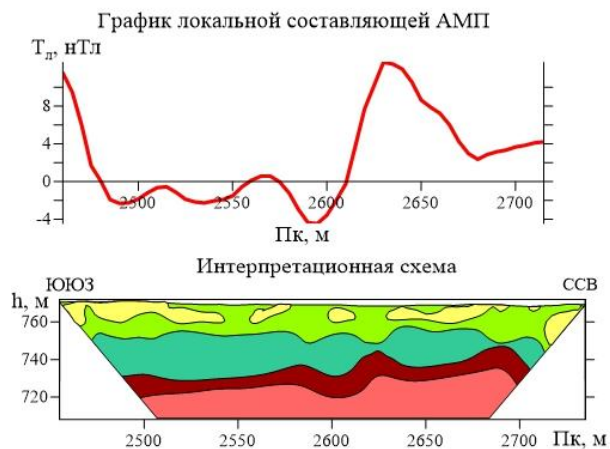
Также в результате сопоставления результатов магниторазведки и электротомографии была выявлена корреляция аномалий магнитного поля с понижением рельефа коры выветривания кристаллического фундамента

Эта корреляция связывается с зонами накопления тяжелой фракции (минералов с высокой удельной массой), в том числе магнетита. В связи с тем, что корунд имеет плотность (4,02 г/см³) выше средней плотности осадочного разреза (2.67 г/см³), то корунд также можно отнести к тяжелой фракции.

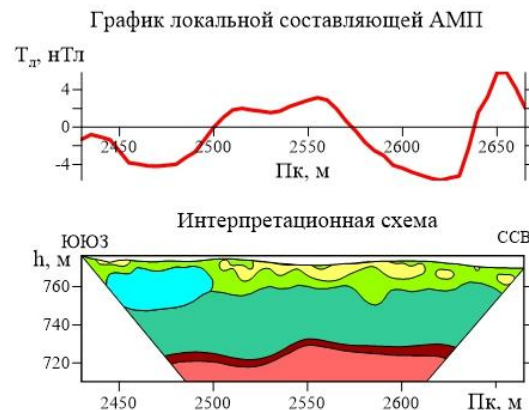
Несмотря на то, что миграционная способность магнетита и корунда несколько отличаются, можно сделать обоснованное предположение о пространственной корреляции зон накопления корунда и магнетита, который создаёт аномалии магнитного поля, располагающиеся над депрессиями кристаллического фундамента.

Таким образом, наиболее перспективные интервалы располагаются на профилях: ПР 2540 (ПК 5070-5125), ПР 4930 (ПК 2580 – 2620), ПР2590 (ПК 4930-4970), ПР 5290 (ПК 2355-2400), ПР 4730 (ПК 2445-2510) (рис. 6.3, рис. 6.4)

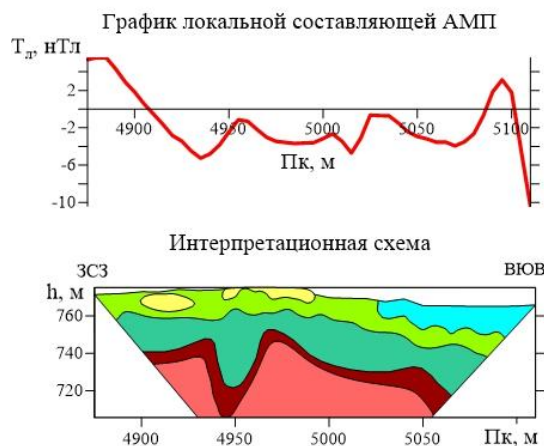
Профиль 4930



Профиль 4980



Магистраль 2590



Магистраль 2540

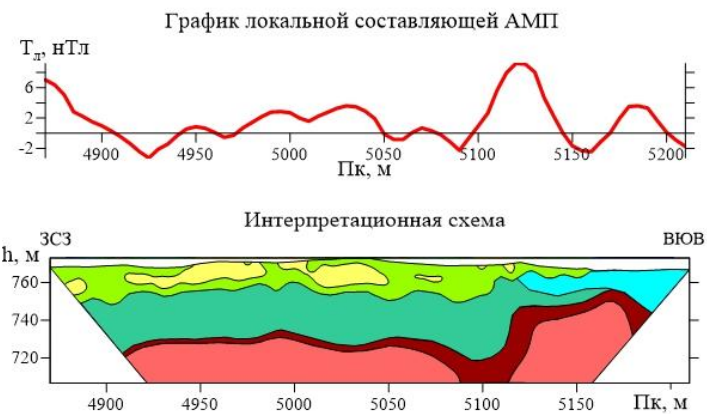
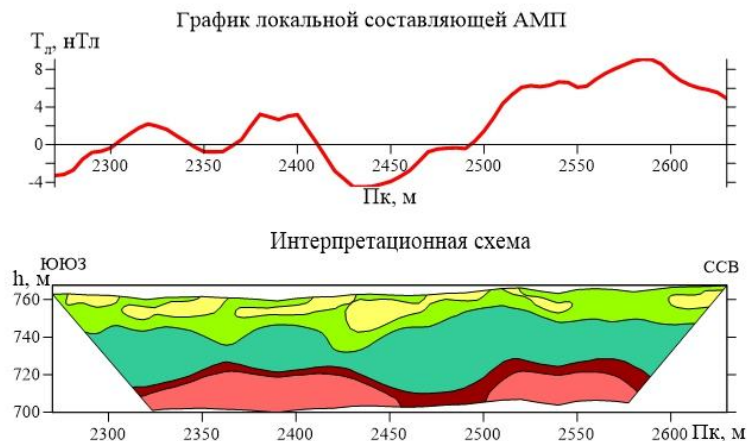
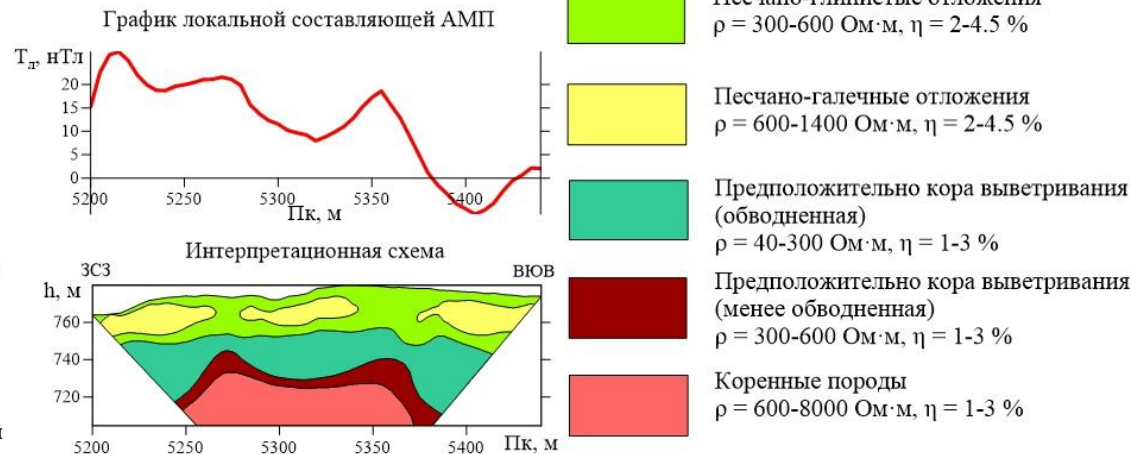


Рис. 6.3 Интерпретационные схемы разрезов с графиками локальной составляющей АМП. Участок 1.

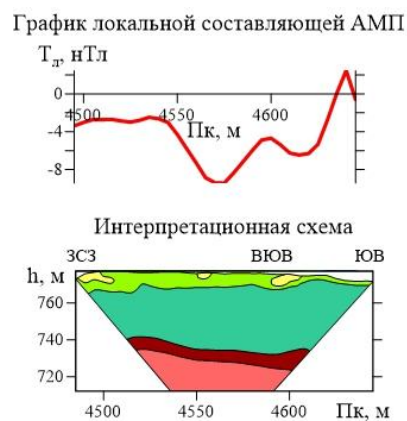
Профиль 4730



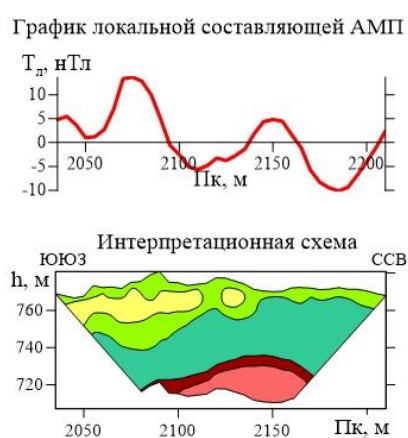
Профиль 2480



Магистраль 2190



Профиль 4570



Профиль 5290

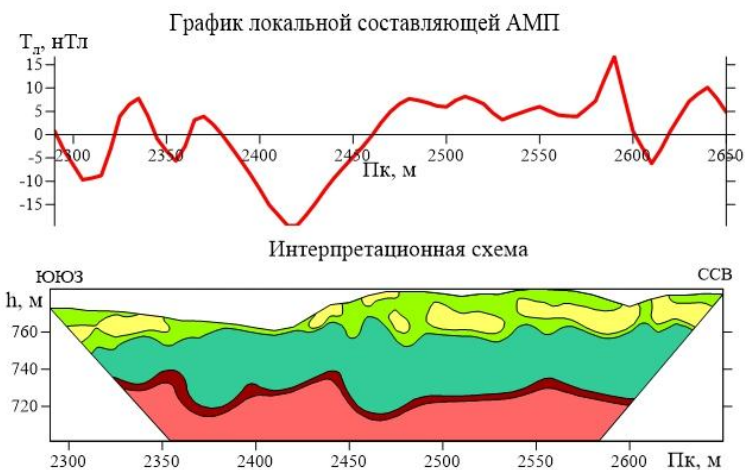


Рис. 6.4 Интерпретационные схемы разрезов с графиками локальной составляющей АМП. Участки 2-4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работы выполнены в пределах первоочередного участка лицензионной площади №3479 (№№1-5) провинции Тоамасина в запланированном объеме. Предварительные результаты геолого-геофизических работ показали, что выбранный оптимальный комплекс геофизических работ вполне удовлетворительно решает поставленные поисковые задачи.

Резюмируя результаты площадных и профильных геофизических работ, можно выделить в качестве поисковых критериев благородных корундов следующее:

1. Высотные отметки ниже 790м.
2. Близость к речной сети ССВ направления;
3. Повышенные значения магнитного поля
4. Близость к линейным аномалиям магнитного поля ССВ направления
5. Области с увеличенными концентрациями U и Th и прилегающие к ним

По результатам площадных работ на выделяемых перспективных областях, необходимо проводить заверку аномалий методом ЭТ.

По итогу электротомографии выполнять поиск областей с повышенными значениями УЭС и дифференциальной поляризуемости, которые, предположительно, связаны с гравийно-галечными отложениями, перспективными на обнаружение россыпей благородных корундов.

Конечно, предварительно необходимо заверить результаты опытно-методических работ. Для этого необходимо провести буровые работы на указанных участках (рис.).

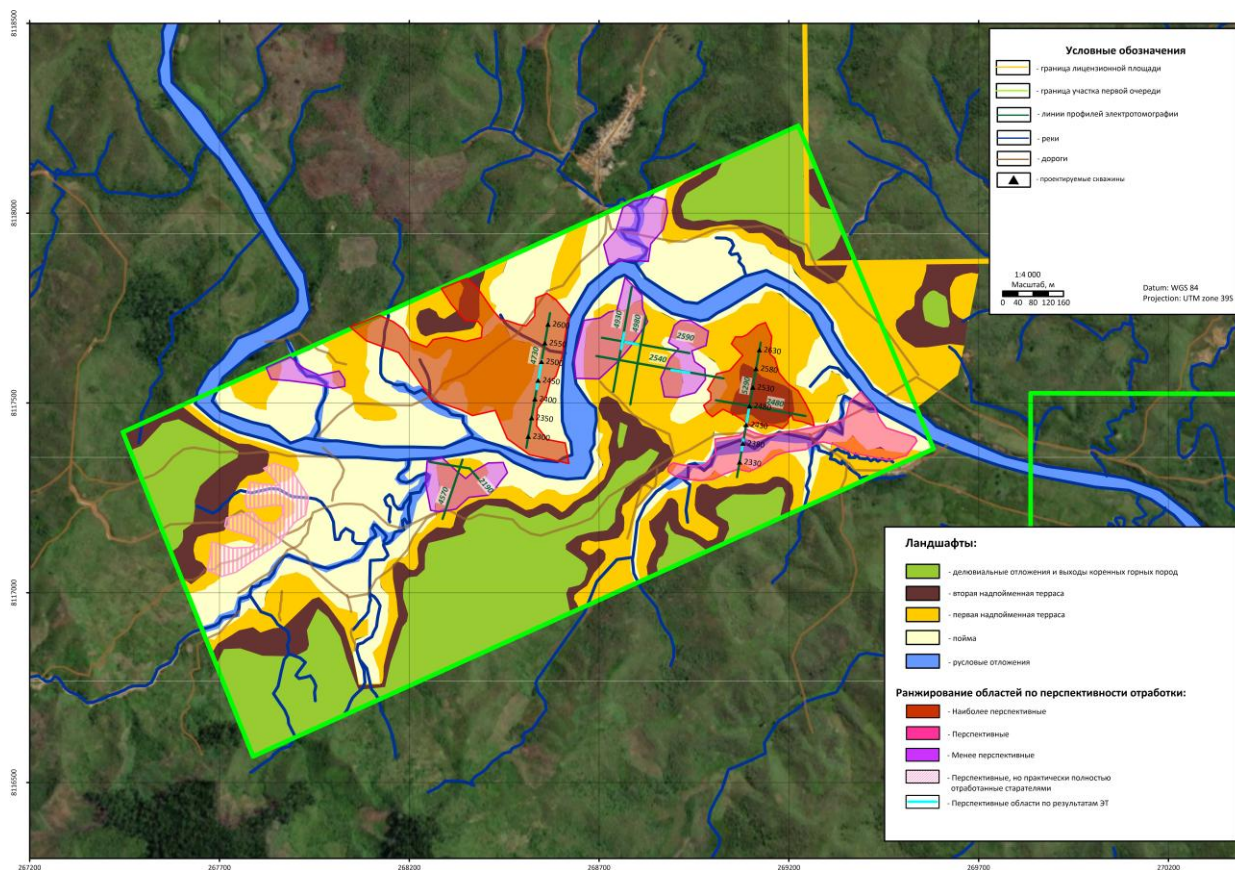


Рис.7. Буровые профили (ПР 4730, 5290)

Буровые профили предлагается расположить по профилям ЭТ, для заверки выделяемых перспективных областей, а также оценки корректности первичной интерпретации геоэлектрических разрезов. Помимо прочего, расположение буровых профилей по разные стороны от реки Sandratsio позволит верно оценить геологическую обстановку и выявить корректность предположения о различной геологической обстановке на левом берегу в сравнении с правым. На каждом профиле предлагается пробурить по 7 скважин с шагом 50м глубиной 50-60м до коренных пород.

Координаты буровых точек приведены в табл. 11.

Таблица 12. Координаты буровых скважин.

PR	PK	x_WGS84_39S, м	y_WGS84_39S, м	x_WGS84, 0	y_WGS84, 0
4730	2350	268522.2023	8117460.902	48.8255989	-17.0153518
	2400	268530.8847	8117510.143	48.8256856	-17.0149079
	2430	269087.5865	8117442.444	48.8309052	-17.0155752
	2500	268548.2495	8117608.623	48.8258589	-17.0140201
	2550	268556.9319	8117657.864	48.8259455	-17.0135762
	2580	269113.6337	8117590.165	48.8311651	-17.0142435
	2600	268565.6143	8117707.104	48.8260322	-17.0131322

5290	2300	268513.5199	8117411.662	48.8255123	-17.0157957
	2330	269070.2217	8117343.963	48.8307319	-17.0164631
	2380	269078.9041	8117393.204	48.8308186	-17.0160192
	2450	268539.5671	8117559.383	48.8257722	-17.014464
	2480	269096.2689	8117491.684	48.8309919	-17.0151313
	2530	269104.9513	8117540.925	48.8310785	-17.0146874
	2630	269122.3161	8117639.406	48.8312518	-17.0137996

При подтверждении строения геоэлектрического разреза, необходимо провести дополнительные разведочные работы на участках второй и третьей очереди, для корректной оценки их перспективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмурман. В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва, 2004 г.
2. Глебовский Ю.С. Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка. – Недра, Ленинград, 1981 г.
3. Дидичин Е.Г. Методы поиска и разведки золотороссыпных месторождений // Золото и технологии. – 2021 г. – № 3 (53).
4. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н., Гаврилов А.П. Геология месторождений драгоценных камней. – Недра, Москва, 1982
5. Никитин А.А., Бродовой В.В. Комплексирование методов разведочной геофизики: Справочник геофизика. – Недра, Москва, 1984 г. – 386 с.
6. Пашкевич А.В. Теория вероятностей и математическая статистика, учебник. – Москва, 2004 г.
7. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. – Недра, Ленинград, 1984.
8. Смыслов А. А. Радиохимические исследования. –1984.
9. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. – Изд-во Акад. наук СССР, Москва, 1962. – 2 т.
10. Федина Н.С. Вызванная поляризация глины: магистерская диссертация. – Санкт-Петербург, 2021 г.
11. Франтов Г.С. Инструкция по электроразведке. Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, Шахтно-рудничная электроразведка, Аэроэлектроразведка, Морская электроразведка. – Недра, Ленинград, 1984 г.
12. Хмелевской В.К., Костицын В.И. Геофизика // Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. – С. 98-147.
13. Хотылев О.В. Геологическое строение и перспективы лицензионной площади №3479 (№№1-5) провинции Тоамасина, республика Мадагаскар// Информационная записка. – Москва, 2019 г.
14. Griffiths, D.H., Barker, R.D. Two-Dimensional Resistivity Imaging and Modeling in Areas of Complex Geology // Journal of Applied Geophysics. – 1993. – № 29 (224-226).
15. RAZAFINDRABIAZA L.A. Доклад о поездке на участок, находящийся в муниципальном округе Саранамбана – Мадагаскар. – 2020 г.

Приложение 5.2.

Таблица 5.2.1. Статистические характеристики распределения ЕРЭ. Все измерения

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
K [%]	3246	0.34	0.30	0.00	2.50	0.31
U [ppm]	3246	2.21	1.90	0.00	15.00	1.97
Th [ppm]	3246	12.27	11.40	0.00	70.50	6.07
Dose	3246	5.64	5.40	0.80	27.50	2.23

*Таблица 5.2.2. Статистические характеристики распределения ЕРЭ. Кластер 1
Аллювиальные отложения*

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
K [%]	2236	0.37	0.30	0.00	2.50	0.31
U [ppm]	2236	2.14	1.90	0.00	15.00	1.84
Th [ppm]	2236	11.98	11.40	0.00	65.70	5.27
Dose	2236	5.56	5.40	0.80	25.40	1.80

*Таблица 5.2.3. Статистические характеристики распределения ЕРЭ. Кластер 2 Коры
выветривания*

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
K [%]	594	0.21	0.10	0.00	2.40	0.29
U [ppm]	594	1.56	1.20	0.00	8.10	1.52
Th [ppm]	594	9.28	9.00	0.10	25.70	4.53
Dose	594	4.13	3.90	1.00	10.00	1.46

*Таблица 5.2.4. Статистические характеристики распределения ЕРЭ. Кластер 3
Техногенные отложения*

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
K [%]	416	0.35	0.30	0.00	1.40	0.32
U [ppm]	416	3.51	3.30	0.00	14.90	2.55
Th [ppm]	416	18.09	16.30	1.80	70.50	7.85
Dose	416	8.24	7.90	2.10	27.50	2.84