

Санкт-Петербургский государственный университет

*ШУБИН Григорий Сергеевич*

Выпускная квалификационная работа

**Возможности электротомографии при выделении перспективных на  
алмазоносность зон в Центральной Африканской Республике**

Бакалавриат:

Направление *05.03.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *СВ.5091.2015 «Геофизика и  
геохимия»*

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доц. каф. геофизики ИНЗ СПбГУ

Кашкевич М.П

Рецензент:

зам. директора МИП "Геологический центр СПбГУ"

Тудвачев А.В.

2019

Санкт-Петербург

## Оглавление

Введение .....	3
1. Географический очерк.....	4
2. Геология региона .....	7
2.1. Геологическое строение территории .....	7
2.2. История геологического развития.....	9
2.3. Классификация алмазоносных коллекторов .....	12
3. Методика проведения работ .....	15
3.1. Обоснование использованной методики .....	15
3.2. Полевые работы .....	16
3.3 Методика обработки.....	19
4. Результаты работ.....	21
Заключение .....	36
Список использованной литературы .....	37

## Введение

В период с 21 июня 2018 г. по 12 сентября 2018 г. компанией ООО «СЗГГК «Геокомплекс» (СЗГГК «Геокомплекс») были проведены геофизические работы в районе, расположенном на территории Центральной Африканской Республики (ЦАР). В комплекс проведенных геофизических работ входила элетротомография и сейсморазведка методом преломленных волн. Целью проведенных изысканий был поиск коллекторов алмазных россыпей и оценка перспективности дальнейшего применения используемых методов в данной геологической обстановке.

Автор данной выпускной квалификационной работы принимал непосредственное участие в электроразведочных работах, обработки полученных данных и их первичной интерпретации.

Целью настоящей дипломной работы является проведение оценки перспективности использования электротомографии при поисках россыпных алмазов в Центральной Африканской республике. Для выполнения поставленной цели требуется выполнить ряд следующих задач:

1. изучение геологических условий района;
2. определение характера коллекторов
3. определение петрофизические свойства отдельных литологических фаций
4. интерпретация полученных данных и дальнейшая оценка качества

## 1. Географический очерк

Центральная Африканская Республика (ЦАР) – государство, не имеющее выхода к морю, находится в центральной части африканского континента. Оно граничит с такими странами как Камерун, Чад, Судан, Южный Судан, Демократическая Республика Конго и Республика Конго (рис. 1).

Большая часть страны состоит из пологой или холмистой саванны, абсолютные отметки рельефа лежат в районе 500 м над уровнем моря. На северо-востоке страны находятся холмы Фертит, на северо-западе – горы Карре, также известные как Ядский массив, гранитное плато с высотой 1143 м.

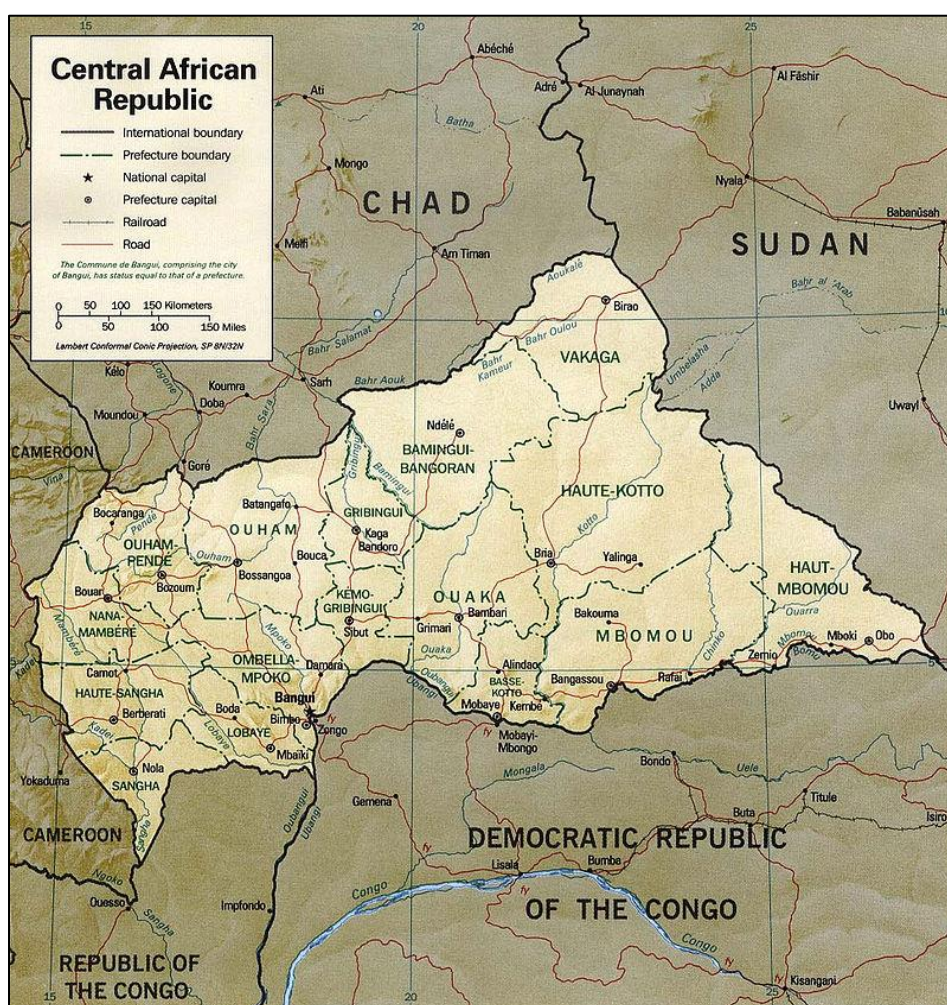


Рисунок 1 Географическая карта Центральной Африканской Республики

Климат и растительность меняются с севера на юг. Густые влажные тропические леса сохранились только на юго-западе страны; при продвижении на северо-восток леса в долинах рек сменяются саванновыми редколесьями и злаковниками.

На севере страны среднегодовое количество выпадающих осадков составляет 1250 мм в год, они выпадают преимущественно с июля по сентябрь, а также в декабре-январе. Среднее годовое количество осадков на юге превышает 1900 мм; влажный сезон длится с июля по октябрь; декабрь и январь — сухие месяцы.

Средняя годовая температура на севере +27 °С, на юге +25 °С.

На 2016 год население по оценкам ООН составило примерно 4 594 621 человек. Население разделено на более чем 80 этнических групп, каждая из которых имеет свой язык, однако также широко распространен французский язык. Самыми крупными этническими группами являются бая, банда, мандджия, сара, мбум, мбака, якома и фула или фулани, в том числе европейцы, в основном французского происхождения. (Департамент Ситуационно-кризисный центр МИД России)

Натуральное сельское хозяйство, наряду с лесным и горнодобывающим, остается основой экономики Центральноафриканской Республики (ЦАР), где около 60% населения проживает в отдаленных районах. Сельскохозяйственный сектор производит более половины расчетного ВВП, хотя статистика в стране, подверженной конфликтам, ненадежна. Большую часть экспортной выручки составляют древесина и алмазы, за ними следует хлопок.

Существует ряд причин, препятствующих экономическому развитию. В стране отсутствует полноценная транспортная система, существует только одна асфальтированная трасса, в сезон дождей грунтовые дороги зачастую размываются и некоторые районы становятся почти недоступными. Есть один международный аэропорт, расположенный в столице. Наблюдаются проблемы с поставками топлива, продуктов и вещей первой необходимости. На территории всей страны существует нехватка чистой питьевой воды

Уровень грамотности населения крайне низкий. В стране дефицит квалифицированных рабочих. Большинство жителей говорят только на французском, либо на местных языках.

Уровень медицины крайне низкий. Как и в большинстве стран Черной Африки, в ЦАР эпидемия ВИЧ. Так же распространены и другие тяжелые болезни. Особое место занимает малярия, которая широко распространена в этих краях. Большинство медикаментов есть только в столице и в крупных районных центрах.

Электрификация в стране почти отсутствует. Центральная система существует только в Банги. Большинство населения лишены электричества, единственный

источник в большинстве районов – это дизельные или бензиновые генераторы.  
(Департамент Ситуационно-кризисный центр МИД России)

С 2013 года в стране происходит фракционная борьба между правительством и его противниками. Военные действия на данный момент носят незначительный характер, большая часть страны под контролем государства.

## 2. Геология региона

### 2.1. Геологическое строение территории

Регион исследований расположен на северном борту синеклизы Конго, части Африканской платформы (рис 2). Фундамент Центральной Африканской республики представлен двумя формациями – гранитогнейсами Неоархея и кварцитовыми сланцами Неопроторезоя. Гранитогнейсовый комплекс относится к Верхне-Заирскому кратону, который залегает на территориях ЦАР и ДРК. ( Григорьев В М., 1990. MClifford T.N 1968)

Данные формации несогласно перекрываются гляциальными отложениями девона (свита Мамбере). Выше несогласно залегают меловые песчаники Карно

Песчаники Карно являются алмазоносными, в следствие чего они представляют собой наибольший интерес. Данная формация встречается на юго-западе и северо-востоке страны. В некоторых источниках северо-восточную часть выделяют в отдельную формацию – Мукка-Уаддо. Песчаники Карно занимают площадь около 40000 км<sup>2</sup>, мощность достигает 400 метров. Песчаники представляют собой ариенит – породу, сложенную на 75-99% из микрокристаллического кварца (Censier C., Lang, 1999).

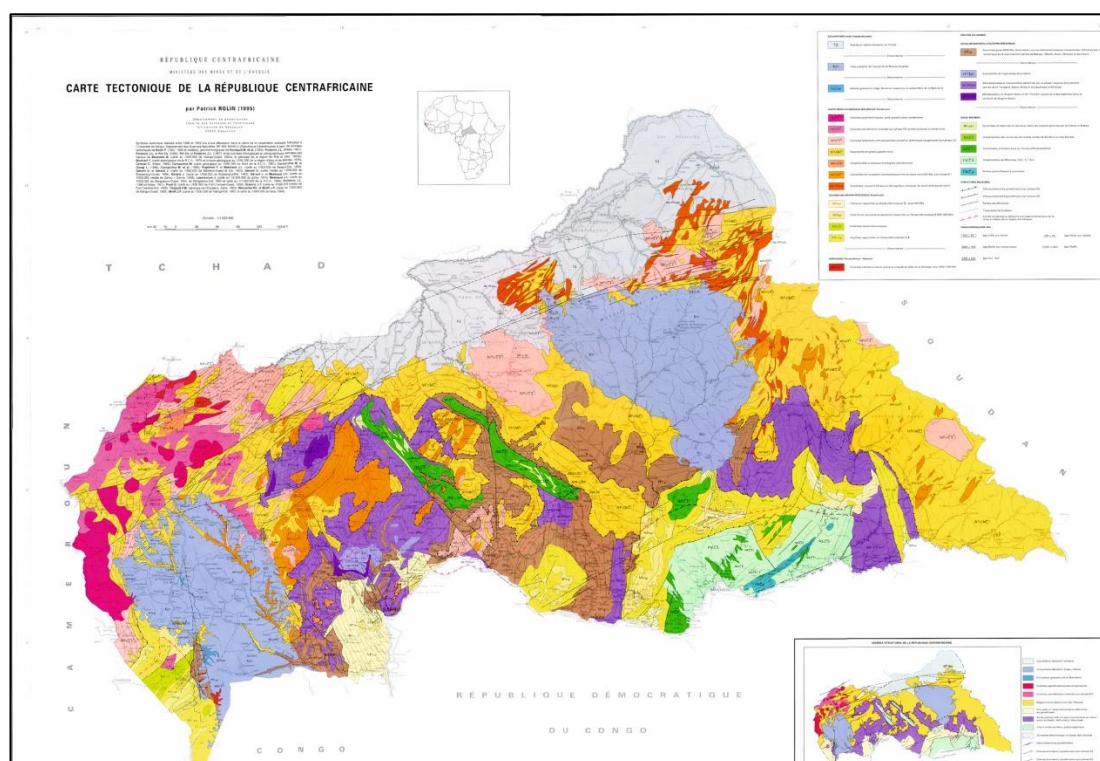


Рисунок 2 Геологическая карта ЦАР

В данной формации был проведен анализ содержания минералов с высокой удельной плотностью. Полученные результаты сравнили с концентрациями из нижележащих пород (породы докембрийского и девонского возрастов).

Песчаники Карно содержат циркон, турмалин, рутил, ставролит и кианит. Такие же минералы представлены в ледниковых образованиях Мамбере и в сланце-кварцитовом комплексе. Главными тяжелыми минералами в гранито-гнейсовом комплексе являются апатит, авгит и гиперстен, из чего можно сделать вывод, что источником для образования меловых толщ Карно являлись формация Мамбере и сланце-кварцитовый комплекс. Гранито-гнейсы являлись лишь базой осадконакопления.

Не существует единого мнения о происхождении алмазов на территории ЦАР. Большинство исследователей придерживаются теории, что источник алмазов располагается на территории Конго. Не исключено, что трубки взрыва существуют также и на территории ЦАР, однако на данный момент их поиски не дали результатов. Если эти трубки и существуют, то исходя из реконструкций палеопотоков их стоит искать на Юго-Западе. (рис 3) (Censier C., Lang, 1999).

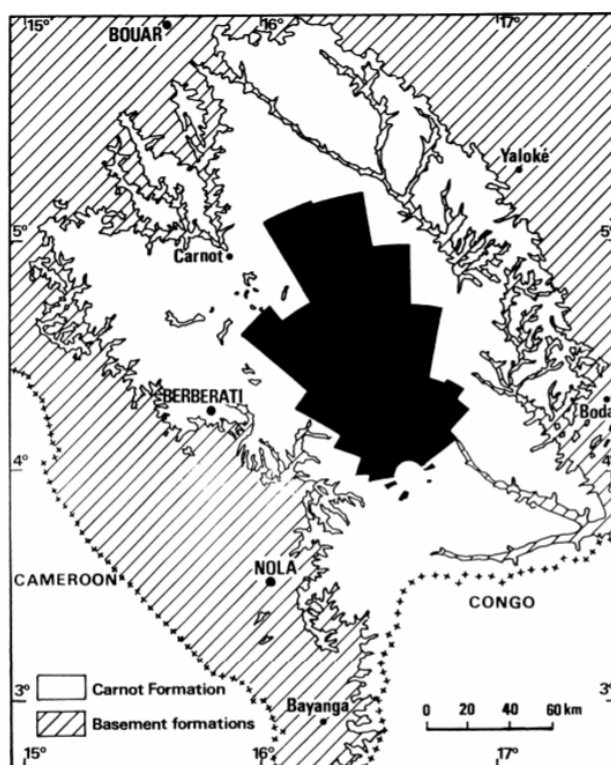


Рисунок 3 Реконструкция направления течения рек в меловое время



## 2.2. История геологического развития

История геологического развития современной территории ЦАР рассматривалась исходя из целей проводимых работ. Особый упор был сделан на генезисе алмазов, местах их современного пребывания (коллекторы), а также на пути их миграции.

### **Докембрий**

Определенные черты алмазов свиты Карно, такие как сильный механический износ, ожелезнение кристаллов, а также сильная изношенность минералов спутников, свидетельствуют о древнем возрасте коренных кимберлитовых пород (Censier C, 1990). Ближайшие сохранившиеся трубки располагаются на территории Конго. Возраст этих трубок соответствует докембрийскому времени (Censier C., Lang, 1999).

В результате химического выветривания кимберлитовых тел были высвобождены алмазы. Далее алмазы вместе с парагенетическими спутниками откладывались в терригенных коллекторах. В результате многократного переотложения и частичного растворения сформировались зрелые породы, сложенные более чем на 90% из кварца. (Censier C., Lang, 1999). Основные события экзогенной истории были практически завершены к концу среднего палеозоя. В течение каледонской и герцинской складчатостей территория современной Центральной Африканской Республики испытывала общее поднятие (Метелкина М.П., 1976; Ушаков 1984). Высокая степень окатанности, хорошая сортировка, ожелезнение кристаллов алмазов являются признаком отложения прибрежно-морских условиях. (Censier C., Tourenq, 1995)

Древний бассейн закрылся к кембрийскому периоду, следовательно, наиболее существенный износ алмазы могли получить только в докембрии. На основании вышеизложенных фактов можно предположить, что алмазы поступили в фанерозойские коллекторы из докембрийских терригенных источников.

### **Мезозой**

В каменноугольный период уже существовали промежуточные коллекторы алмазов. Движение гондванского оледенения в карбоне происходило с юга на север, коллекторы на начало каменноугольного периода располагались южнее их современного местонахождения (рис 4).

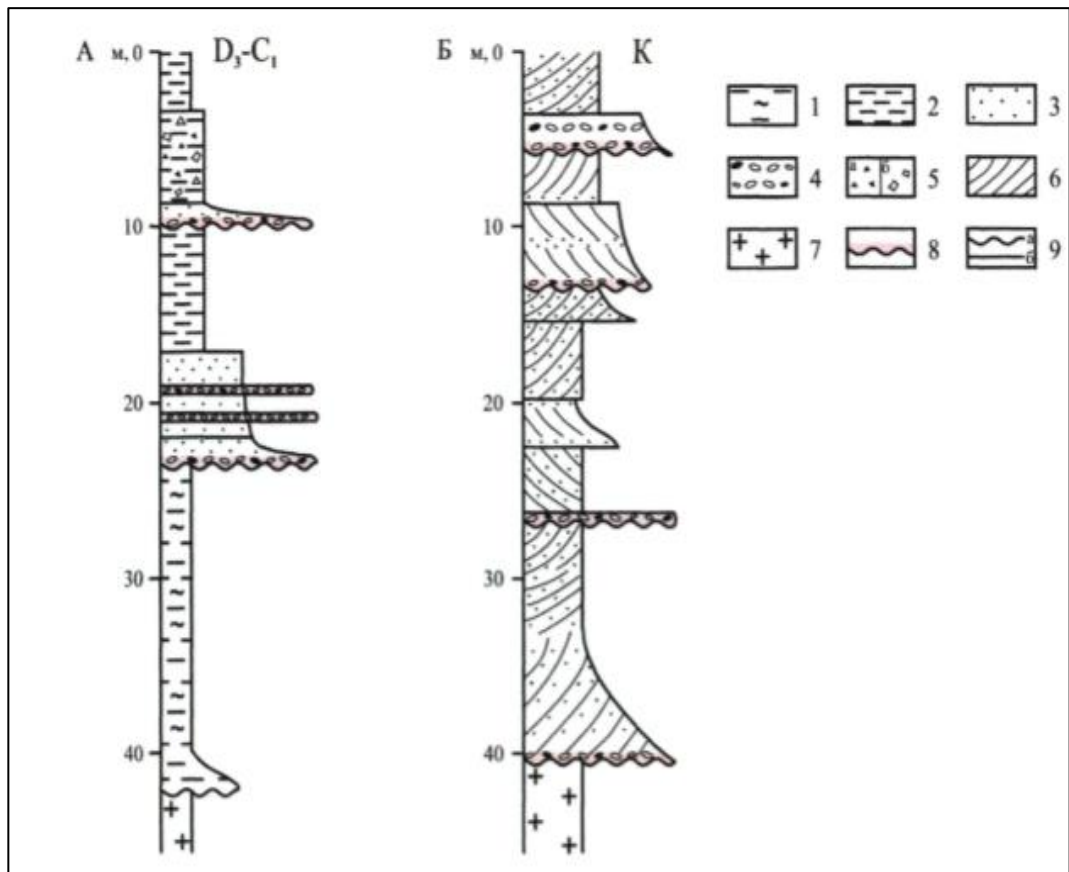


Рисунок 4 Литологические колонки разновозрастных терригенных коллекторов алмазоносной области Убанги-Шари: А-ледниковые каменноугольные отложения (свита Мамбере), Б-озерно-аллювиальные меловые отложения (свиты Мука-Уадда и Карно-Берберати).

:1 - глинистые алевролиты; 2 - алевролиты; 3 - пески, песчаники; 4 - гравелиты, конгломераты; 5 - дресва, щебень (а), глыбы (б); 6 - косослоистые серии пород; 7 - породы архейскораннепротерозойского фундамента; 8 - горизонты с установленной и предполагаемой алмазоносностью; 9 - несогласное с размывом (а) и согласное (б) залегание пород.

В юре и триасе территория испытывала поднятие, и, как следствие, денудацию – рельеф сглаживался. К концу юрского времени территория северной части Центральноафриканского массива представляла собой гигантский пенеплен. (Кинг Л,1967)

В юре-мелу происходит масштабное тектоническое событие – раскол Гондваны (Устинов, 2009), которое привело, в том числе, и к формированию синеклизы Конго, на северном борту которой и располагается территория ЦАР. Некоторые источники относят заложение синеклизы в качестве платформенной тектонической структуры к протерозою (Хаин, 1973), другие относят начало её формирования к триасу (Григорьев, 1990)

В мелу происходит накопление алмазоносных отложений Мука-Уадда и Карно-Берберати (рис. 3.1). По результатам статистического анализа замеров ориентировки косослоистых серий была выполнена реконструкция направления палеопотока, которое было определено как северо-северо-западное. (Censier C., Lang J., 1999)

В начале позднего мела формируются русловые россыпи малых и средних рек, приуроченные к базальным горизонтам мезозойских отложений (рис. 4). К концу мелового периода на территории ЦАР формируется аккумулятивно-денудационная поверхность выравнивания. (Censier C., Lang J., 1999; Трофимов 1980)

### **Кайнозой**

В эоцене в очередной раз происходит поднятие данной территории, ознаменовавшее неотектонический этап развития (Кинг Л., 1967). Формируется Главный Центрально-Африканский Водораздел и современные русла рек Убанги и Шари. Современные реки текут по руслам меловых водных потоков. Их направление отлично, направление течения с севера на юго-восток. (Censier C., 1990)

Поднятие также привело к активному выветриванию пород. В результате эрозии размывались позднемеловые коллекторы свит Мука-Уадда и Карно-Берберати. При минимальном уровне моря в позднечетвертичном времени происходит максимальный врез речной системы (Селиверстов Ю.П., 1978), формируется особенный тип коллекторов – мармиты (водобойные или структурные ямы).

Окончательная регрессия моря и аридизация климата в конце позднечетвертичного времени привела к возникновению большого количества сухих долин. Поверхности террас, находясь в субэральных условиях, подверглись интенсивному ожелезнению. При повышении базиса эрозии и гумидизации климата в голоцене водотоки вновь начали течь по долинам меловых рек. Продолжили свое формирование аллювиальные россыпи алмазов. (Трофимов, 1980)

Таким образом, большая часть кайнозойских россыпей была сформирована в позднечетвертичное и голоценовое время.

## 2.3. Классификация алмазоносных коллекторов

### Возрастная классификация

Среди фанерозойских отложений ЦАР выделяют терригенные отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя, которые являются промежуточными коллекторами алмазов.

#### Палеозойские коллектора

Мощность палеозойских коллекторов достигает 50 м, их выделяют в свиту Мамбере. Они залегают на кристаллическом фундаменте и перекрыты меловыми песчаниками свиты Карно. Сложены тиллитами и прочими ледниковыми и водно-ледниковыми формациями.

По исследованиям минерального состава легкой и тяжелой фракции (Censier С., Lang J 1999) установлено, что свита Мамбере имеет сходство по минералогическому составу с нижележащим комплексом кварцитовых сланцев докембрийского возраста, что подтверждает их генетическую связь.

Алмазы обнаружены во флювиогляциальных отложениях. Можно заключить, что формирование коллекторов алмазов происходило за счёт размыва допозднепалеозойских коренных источников и преимущественно архейско-протерозойских кварцитовых сланцев в условиях ледникового переноса. Промышленных россыпей в палеозойских коллекторах ледникового генезиса не установлено. (Устинов, 2009)

#### Меловые коллектора

Залегают преимущественно на кристаллическом фундаменте. В зонах погружения фундамента залегают на палеозойском гляциальном комплексе.

В центральных депрессиях фундамента меловые коллектора не вскрываются водотоками, в отличие от периферий. Максимальная мощность отложений центральной части достигает 500 метров, к краевой части выклинивается. (Устинов, 2009)

Меловые коллектора сложены толщей чередующихся песчаников. В основании чаще всего залегает базальный слой сложенный конгломератами. Мощность базальных конгломератов достигает двух метров. В данных отложениях установлены залежи как отдельных алмазов, так и их россыпей. Также алмазы присутствуют в основной массе толщи. (Устинов, 2009)

Среди меловых россыпей, связанных со свитами Мука-Уадда и Карно-Берберати, выделяется два морфогенетических типа (Устинов, 2009): русловые россыпи малых и средних рек, русловые россыпи аллювиальных равнин (рис. 5).



Рисунок 5 Морфогенетические типы мезо-кайнозойских россыпей алмазов

### Кайнозойские коллектора

Представлены полифаціальными образованиями: элювиальными, делювиальными, аллювиальными и другими. Алмазоносными являются лишь аллювиальные фации, которые развиты в основном в долинах правых притоков рек Убанги, Мамбере, Котто и других, реже в верховьях рек бассейна р. Шари (Устинов, 2009). Они с размывом залегают на кристаллических породах архейско-раннепротерозойского фундамента, палеозойских отложениях свиты Мамбере и на меловых коллекторах свит Мука-Уадда и Карно-Берберати.

### Пространственная классификация

Можно выделить следующие типы коллекторов по их расположению в долинах рек:

#### Высокие террасы

Кайнозойские речные системы сформировали террасовые комплексы, содержащие переработанный материал верхнемеловых конгломератов. Верхние террасы большинства крупных рек содержат красно-коричневые базальные галечники и конгломераты.

#### Низкие террасы и пойма

Размыв и дальнейшее перераспределение материала высоких террас сформировали отложения низких террас и пойм. Эти отложения содержат галечники оранжево-желтого и серого цветов, иногда с более светлой окраской. Галечники и

перекрывающие отложения низких террас существенно менее мощные, чем их аналоги на высоких террасах, что свидетельствует о более спокойном гидрографическом режиме.

### **Отложения современного русла**

Продуктивные алмазоносные отложения представлены приплотиковыми галечниками. Для этих отложений характерна высокая концентрация алмазов. Алмазоносные каналы и мармиты содержат незначительные запасы галечника, но высокие содержания алмазов в них определяют их значимость для местной старательской добычи.

### 3. Методика проведения работ

#### 3.1. Обоснование использованной методики

Для россыпных месторождений типично слоистое строение, где слои имеют контрастные характеристики. Такая особенность предопределяет использование геофизических методов ориентированных на картирование горизонтально-слоистых сред с выделением в них вертикальных неоднородностей.

На практике при поиске россыпей используются вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), электротомографию и георадар. При поиске коллекторов алмазов в ЦАР использовалась электротомография так как объект исследования залегал на небольших глубинах, а на использование ВЭЗ накладывало ограничение обильная растительность в этом регионе. Обводненность пойменной части профилей ограничила использование георадара.

С помощью электроразведки были проведены работы с использованием метода кажущихся сопротивлений (КС) и вызванной поляризации (ВП) с помощью трехэлектродной раскладки установки (рис. 6).

В качестве параметра ВП оценивалась заряжаемость – интеграл переходной характеристики спада, деленный на время интегрирования. В силу своей интегральной характеристики, данный параметр является более устойчивым к помехам.

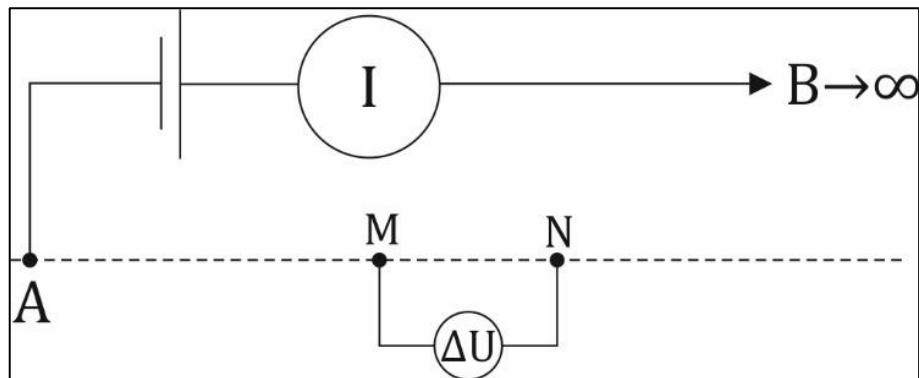


Рисунок 6 Схема трехэлектродной раскладки

### 3.2. Полевые работы

Перед началом геофизических работ был выполнен комплекс топографических работ, направленных на высотную привязку заранее подготовленных профилей. Привязка осуществлялась при помощи GPS Garmin 64, высоты проектных точек измерялись с помощью тахеометра.

#### Аппаратура

Выполнение ТЭЗ проводилось при помощи генератора *TLT-45* и измерителя *TLR-IP-003* производства компании ООО «ТЕЛЛУР» [16]. Данная аппаратура позволяла производить измерения сопротивлений и вызванной поляризации. Технические характеристики оборудования приведены в таблицах 1 и 2

Таблица 1

Технические характеристики генератора TLT-45

Техническая характеристика	Значения
Входное напряжение	50-300В
Входной ток	от 5 до 200 мА
Выходная мощность до	30 Вт
Режимы работы генератора: переменный ток (рпи-1) и разнополярные импульсы со скважностью 2 (рпи-2).	
Частота переменного тока	0.038-78.1 Гц
Длительность разнополярных импульсов	6.4мс-13.1с
Точность поддержания частоты и длительности импульсов	$\pm 3 \cdot 10^{-8}$
Длительность фронта	10 мкс
Точность задания тока не менее	$\pm 3\%$
Точность стабилизации тока не менее	1%
Рабочая температура	-20/+40 °С
Температура хранения	-10/+40 °С



Таблица 2

## Технические характеристики измерителя TLR-IP-003

Техническая характеристика	Значение
Длительность импульса и паузы, с	0.41 – 13.1
Количество стробов, с	3 - 8
Время центров стробов, с	0.054; 0.116; 0.225; 0.43; 0.830; 1.56; 2.78; 4.17
Основная погрешность измерений, %	±1
Диапазоны (пределы) измерений	10В, 2.5В, 625мВ, 156мВ, 78мВ, 19.5мВ, 4.9мВ.
Подавление помехи 50 и 100Гц, дБ	Не менее 100
Входное сопротивление, МОм	Не менее 2
Компенсация ЕП	± 1.2 В (автоматическая)
Процессор	INTEL 80C188EB
Точность синхронизирующих часов, с	$3 \cdot 10^{-8}$
Напряжение питания от источника постоянного тока, В	9-14 В
Диапазон рабочих температур, °С	0 +40
Габаритные размеры, мм	230x140x120
Вес, кг	2

Для изучения строения террас рек, выделения пойм и перспективных мест использовалась раскладка со следующими параметрами

Шаг точек измерения: 20-30 метров;

Длина линии MN: 20-10 метров;

Выносы: до 80 метров от заземления А.

Данные параметры установки обеспечивали глубинность измерений до 50 метров, что полностью соответствовало поставленным задачам. Питающий электрод В выносился минимум на 400 метров от крайней точки замера. При обнаружении перспективных зон проводились детальные работы со следующими характеристиками установки:

Шаг точек измерения: 5 метров;

Длина линии MN: 2 метров;

Выносы: до 10 метров от заземления А.

В качестве заземления для питающей линии АВ использовались латунные электроды и стальные лопаты. Площадь контакта лопаты составляет не менее 250 см<sup>2</sup>, площадь контакта латунного электрода составляла не менее 100 см<sup>2</sup>.

Для заземления в точке А использовались стальные лопаты и латунные штыри, общая площадь контакта заземления не менее 500, а для более детальных работ использовались два латунных штыря (общая площадь не менее 200 см<sup>2</sup>).

Для заземления В так же использовались латунные штыри и лопаты, общая площадь контакта заземления не менее 900 см<sup>2</sup>. В качестве приемных электродов использовались неполяризующиеся заземления конструкции ВИРГ.

При проведении работ возникали проблемы, связанные с заземлениями. Низкая влажность верхних слоев почвы приводила к плохому контакту электродов. Частично эта проблема решалась искусственным увлажнением почвы.

### 3.3 Методика обработки

При обработке данных использовались следующие программы:

TLM – предназначена для получения данных из прибора TLR-IP-003 и первичной обработки измерений;

EXEL – программа для работы с электронными таблицами. в данной программе производился пересчет значений кажущихся сопротивлений и вычисление заражаемости;

Oasis Montaj – в данной программе осуществлялся анализ и корректировка временных стробов (рис. 6);

ZondRes2d – данная программа предназначена для двумерной интерпретации данных электрофотографии методом сопротивлений и вызванной поляризации в наземном, скважинном и акваторном вариантах.[17]

Surfer-в данной программе производилось оформление разрезов

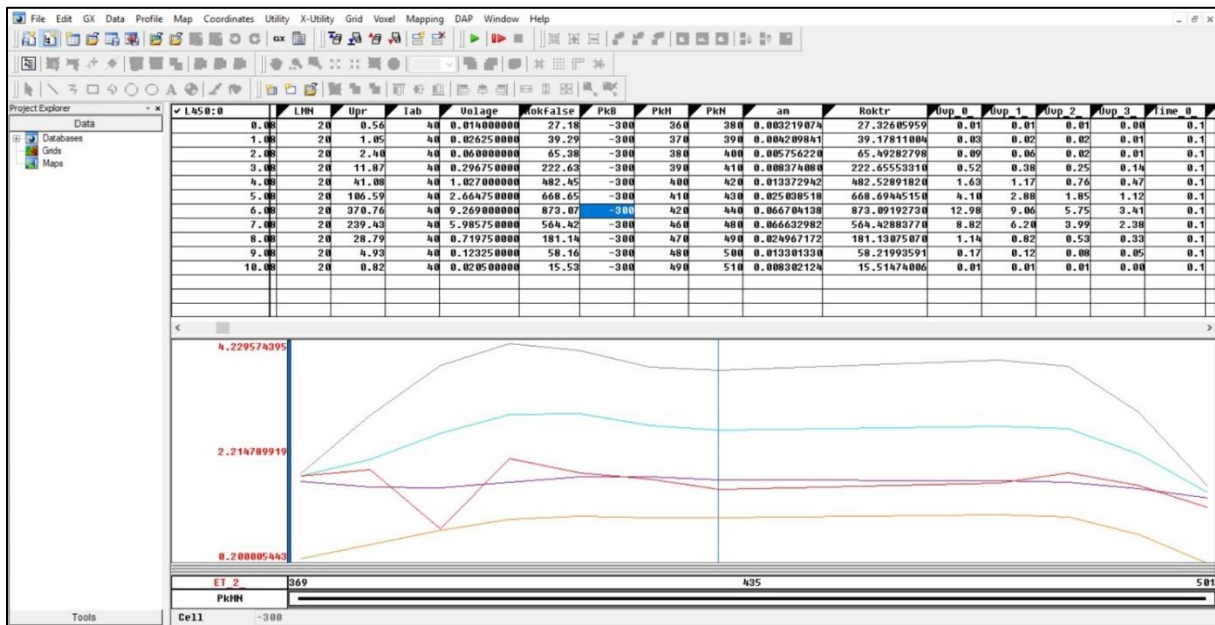


Рисунок 7 Пример работы с временными стробами в программе Oasis Montaj

После передачи данных на компьютер с измерителя с помощью программы TLM в программе EXEL вводился коэффициент установки  $K$  по формуле 3.1:

$$K = \frac{\pi \times AM \times AN}{MN} \quad (3.1)$$

где,  $AM$  – расстояние между А и М;

$AN$  – расстояние между А и N;

$MN$  - расстояние между М и N;

Далее осуществлялся пересчет кажущихся сопротивлений  $\rho_k$  Ом\*м с учетом коэффициента установки по формуле 3.2:

$$\rho_k = K \frac{U_{MN}}{I_{AB}} \quad (3.2)$$

где  $K$  – коэффициент установки, вычисленный по формуле 3.1;

$U_{MN}$  – напряжение на линии MN;

$I_{AB}$  – сила тока подаваемая с генератора.

Переход от поляризуемости к заряжаемости. осуществлялся по формуле 3.3:

$$chr = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \eta(t) dt \quad (3.3)$$

где chr – заряжаемость

$\eta$  – поляризуемость

Также на этом этапе обработки производилась частичная корректировка данных.

Для более тщательной корректировки данных и сглаживания временных стробов использовался пакет программ Oasis Montaj. Прибор записывал 4 временных строба и при некачественной записи одного из них, программа позволяла скорректировать его (рис 7)

Инверсия производилась в программе ZondRes2D. Окончательное оформление разрезов осуществлялось в программе Surfer.

#### 4. Результаты работ

На опережающем этапе на лицензионной площади был проведен комплекс горно-геологических работ. На основании геоморфологического анализа, геологических наблюдений в существующих горных выработках и дешифровки спутниковых снимков были выделены участки перспективные на образование россыпных отложений (рис. 8). Для изучения строения речных долин в пределах этих участков были заложены геофизические профили пересекающие долины всех крупных водотоков. Детализационные работы проводились на перспективном участке Бакезе. Для определения поисковых критериев были проведены работы вдоль шурфовочной линии на эталлонном участке бонги.

##### **Долина реки №1**

Наиболее крупной рекой в этом районе является река №1. Проведение работ было осложнено частичным затоплением пойменной части.

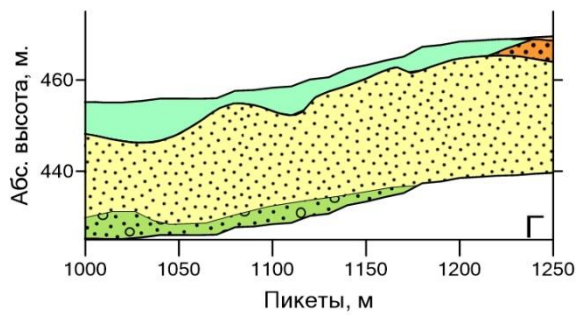
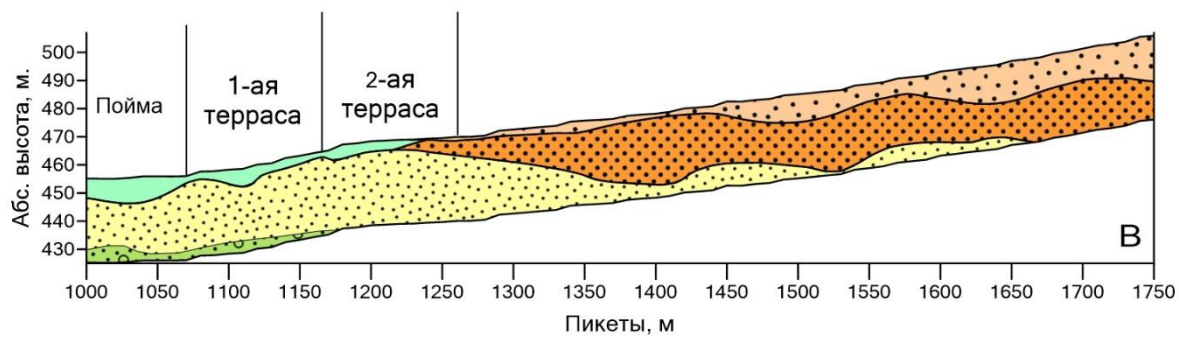
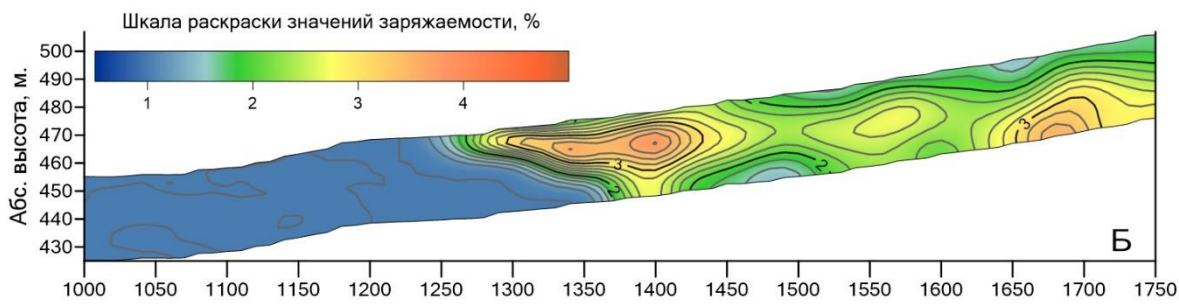
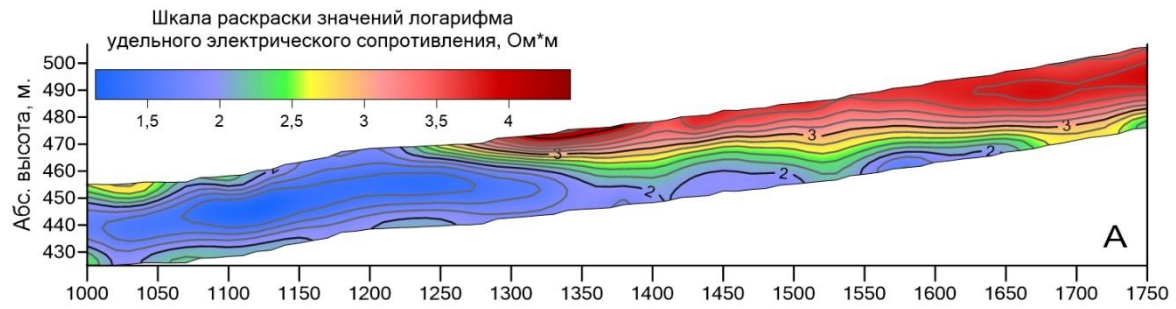
По результатам дешифрирования спутникового снимка были выделены 2 террасы общей протяженностью около 150 метров. Эти границы подтвердились геофизическими работами. На геоэлектрических разрезах по профилю 1.1 (рис 9) по параметру сопротивления удалось разделить толщу рыхлых отложений на высокоомные делювиальные и низкоомные аллювиальные. Коренные породы представлены латеритными корами выветривания по песчаникам. Они выделяются повышенными значениями параметра ВП. На основании комплексного анализа геофизических результатов и геологических наблюдений в старательских выработках была построена итоговая модель строения речной долины.

Склоновые части перекрыты делювиальными отложениями. На первой (припойменной) террасе мощность аллювиальных отложений достигает 5 метров, в пойме до 7 метров. Вторая терраса частично перекрыта делювиальными отложениями, в средней её части обнажаются латеритные песчаники. Здесь аллювиальные отложения менее мощные, не более 1,5 м.

Долина реки №1 имеет четкие аккумулятивные террасы, наличие неоднородностей в рельефе плотика является предпосылкой к нахождению коллекторов алмазоносного галечника. Однако небольшая мощность аллювиальных отложений ставит под вопрос перспективность разработки россыпей реки №1 в промышленных масштабах. Большая часть старателей работает именно в долине этой реки.



Рисунок 8 Карта фактических материалов



- Условные обозначения
- Латеритная кора выветривания по песчаникам.  
 $100 < \rho < 1500 \text{ Ом*м}; 2.5 \% < \eta$
  - Делювиальные отложения.  
 $1500 \text{ Ом*м} < \rho; 1.5 \% < \eta < 2.5 \%$
  - Аллювиальные отложения.  
 $100 \text{ Ом*м} < \rho < 1000 \text{ Ом*м}; \eta < 1 \%$
  - Песчаник.  $\rho < 100 \text{ Ом*м}; \eta < 1.5 \%$ .
  - Песчано-конгломератные породы (?)  
 $100 < \rho < 500 \text{ Ом*м}; \eta < 1.5 \%$ .

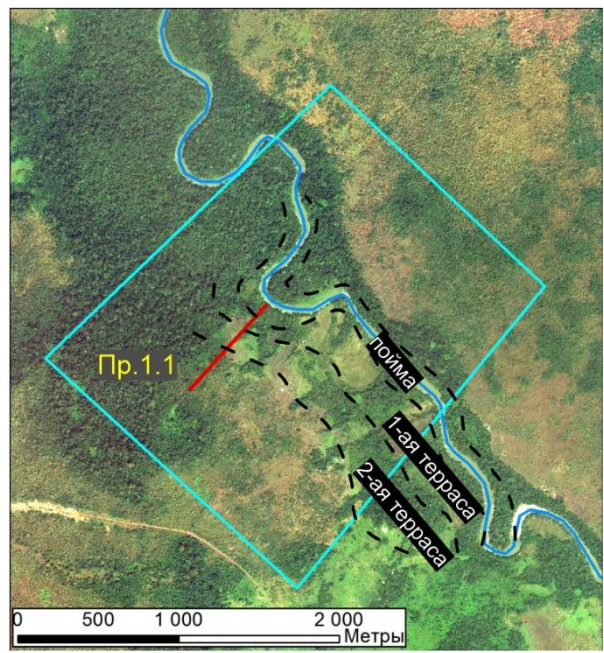


Рисунок 9. Профиль 1.1 А - Результаты инверсии параметра УЭС; Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации

### **Долина реки №2**

Ширина долины достигает 400 метров. Предполагаемые на предварительном этапе террасы подтверждены не были. Полевые исследования показали, что большинство выделенных отложений принадлежит склоновой части и представляет собой продукт разрушения латеритной коры. На профиле 2.1 на разрезе параметра сопротивления под делювиальными склоновыми выделяются элементы строения характерные складчатым образованиям. Ниже по течению, на профиле 2.2 (рис 11) залегание пород моноклиналиное. Наиболее вероятно, что неоднородности на профиле 2.1 это часть эродированной складки., выклинивающейся к профилю 2.2.

Мощность аллювиальных отложений в пойме достигает 7 метров на обоих профилях. В пойме залегают аллювиальные отложения мощностью до 5-7 метров. На профиле 2.2 были выделены локальные депрессии рельефа плотика. Ближайшая к руслу была заверена шурфом. Гравелитов в углублении не обнаружено. Значительные сложности при проведении горных работ вызвал высокий уровень зеркала грунтовых вод.

### **Долина реки №3**

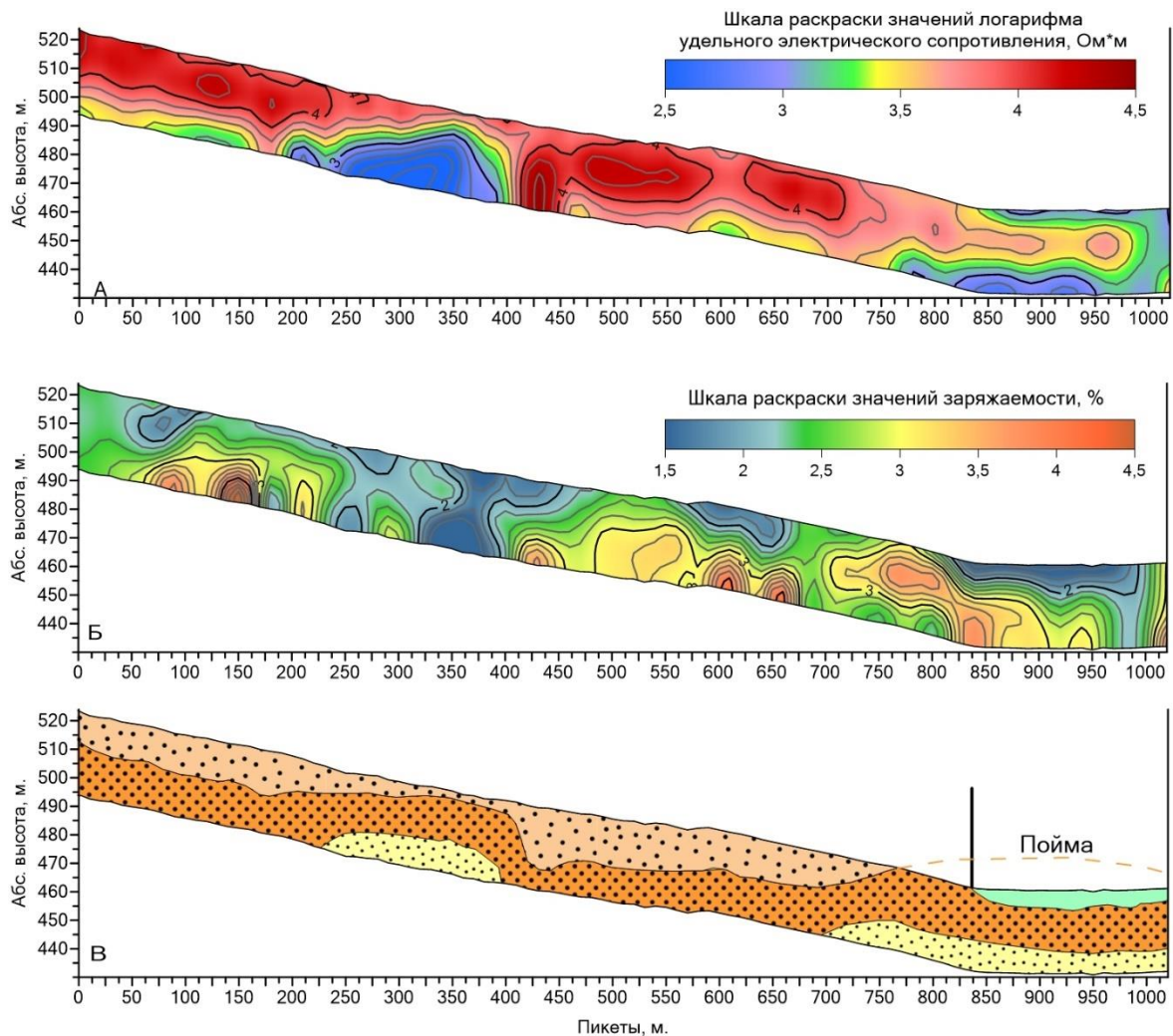
Мощность делювиальных отложений на профиле 3.1 (рис 12) и 3.2 наиболее низкая из всех изученных нами. Террас не выявлено. Долина реки представлена пойменной частью шириной в 120 м. Аллювиальные отложения достигают максимальной мощности 5 метров мощности, какие-либо погружения рельефа плотика выявлены не были. В современных отложениях речного русла гравия не обнаружено.

### **Долина реки №4.**

Единственная из изученных, река которая течет вкост направления палеопотока меловой речной системы. (рис 13). Террасы отсутствуют. При относительно широкой пойме в более чем 150 метров, аллювий не формирует значимых отложений. Породы залегают субгоризонтально, никаких потенциальных структурных ловушек не было обнаружено.

На основании проведенных работ были изучены строение долин рек №1, 2, 3, 4. Речные долины 2,3,4 находятся в зачаточном состоянии. Террасы практически отсутствуют, эпизодически встречается первая. Наиболее развитая долина, оказалась у реки №1. Последующие исследования были посвящены более детальному изучению поймы и террасы этой реки в пределах перспективного участка Бакези.





#### Условные обозначения

- Делювиальные отложения.  $1500 \text{ Ом*м} < \rho$ ;  $1.5 \% < \eta < 2.5 \%$
- Латеритная кора выветривания по песчанкам.  $100 < \rho < 1500 \text{ Ом*м}$ ;  $2.5 \% < \eta$
- Аллювиальные отложения.  $100 \text{ Ом*м} < \rho < 1000 \text{ Ом*м}$ ;  $\eta < 1 \%$
- Песчаник.  $\rho < 100 \text{ Ом*м}$ ;  $\eta < 1.5 \%$ .

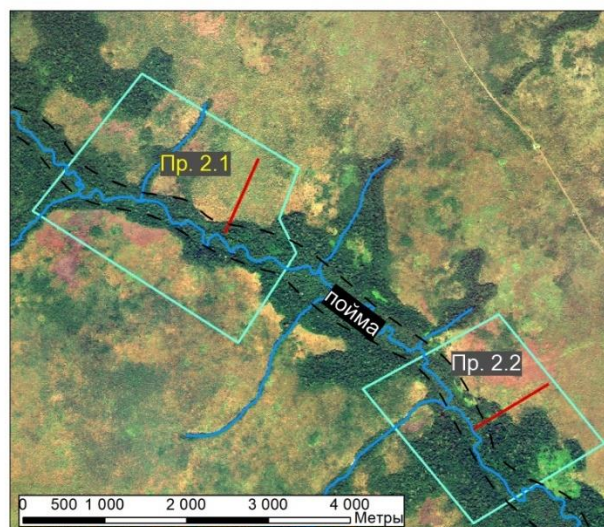
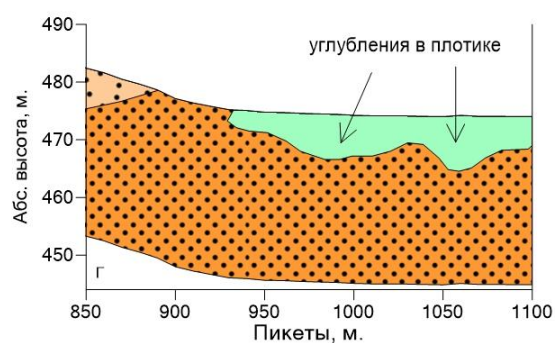
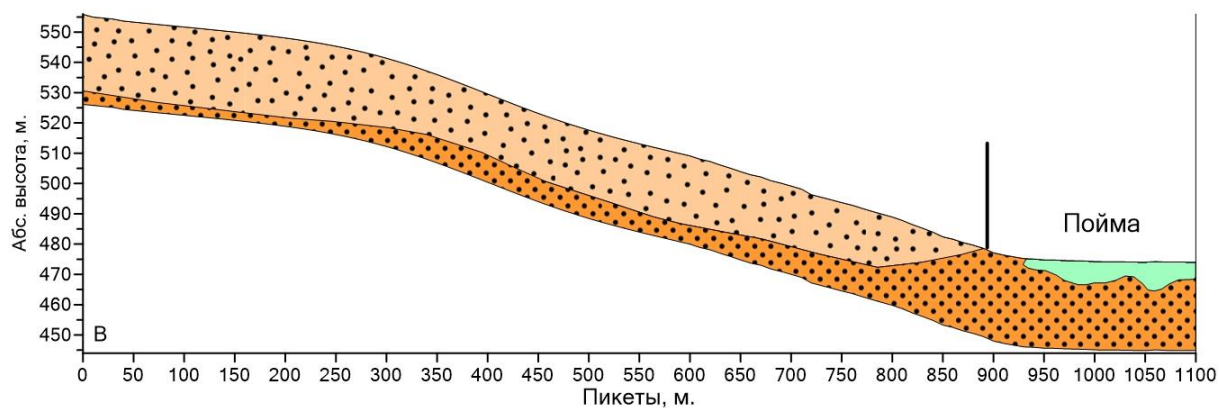
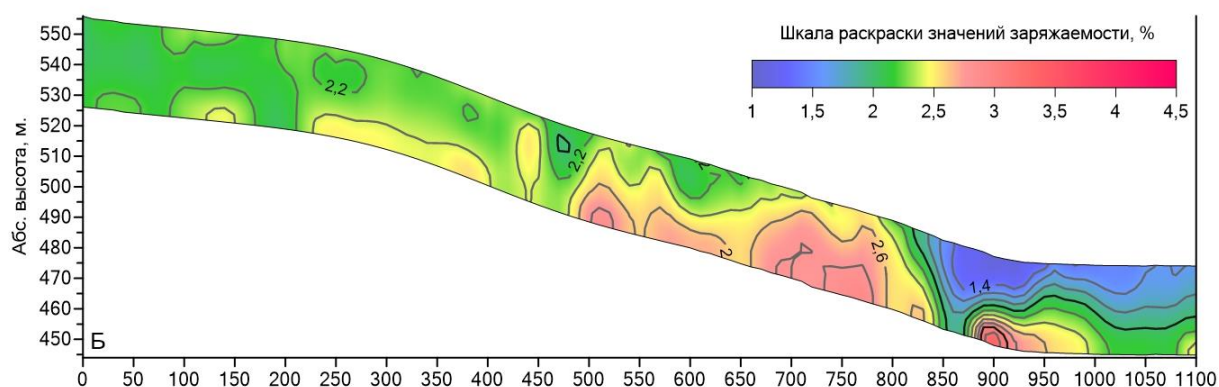
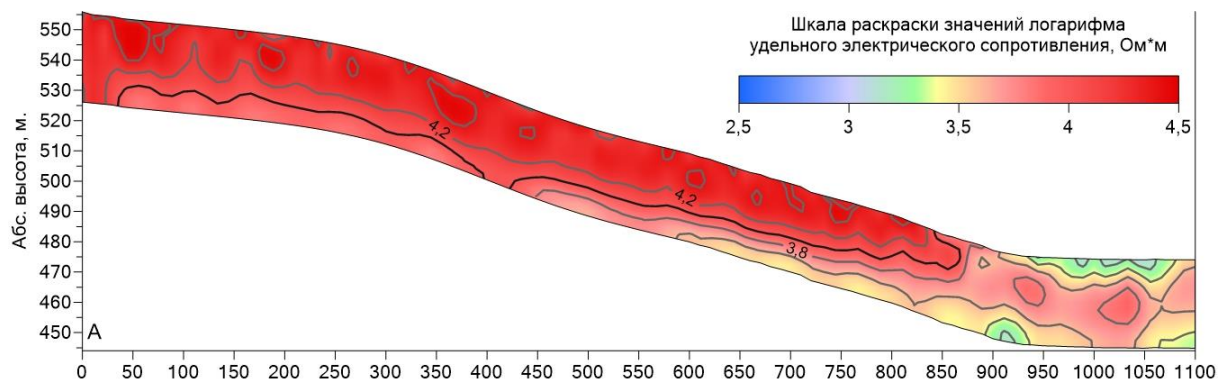


Рисунок 10 Профиль 2.1 А - Результаты инверсии параметра УЭС; Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации



#### Условные обозначения




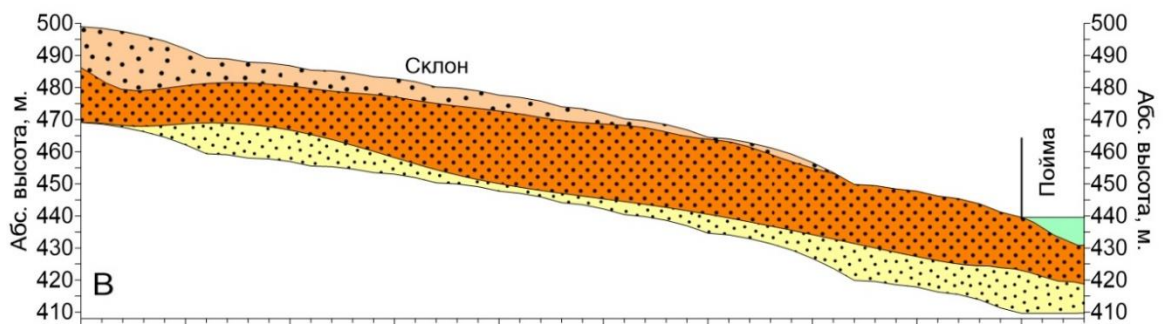
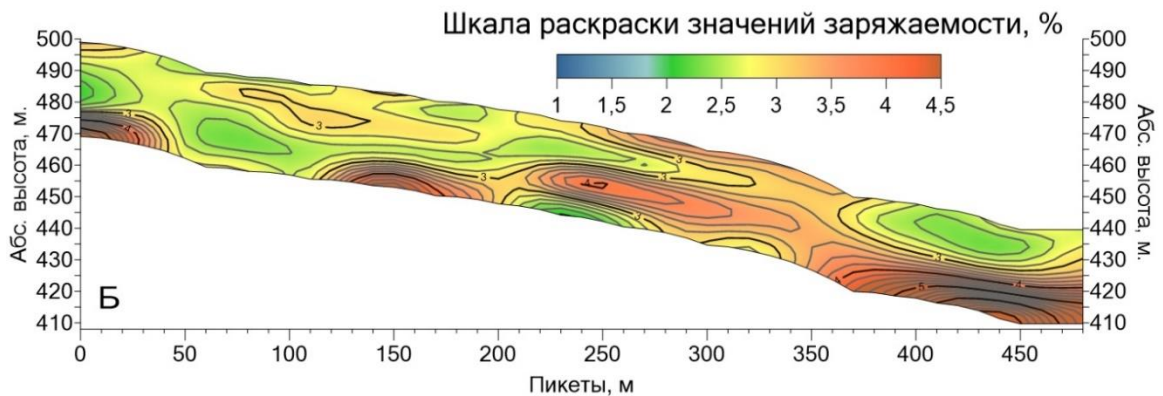
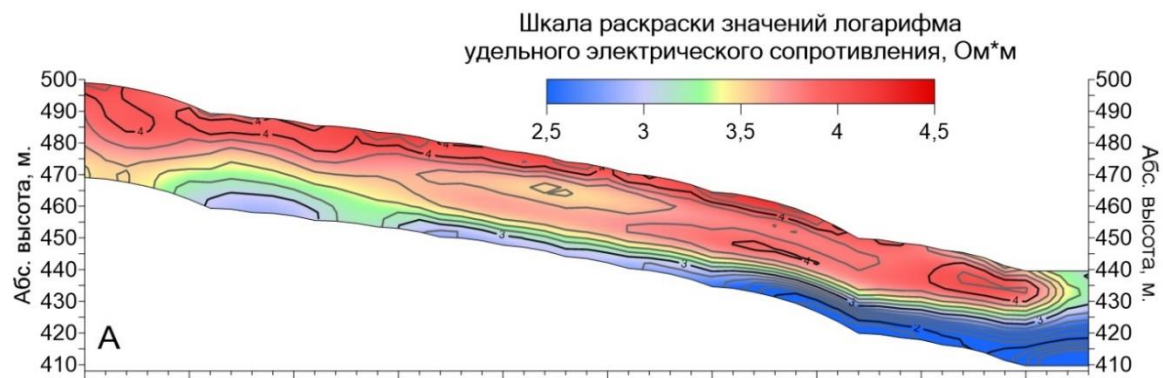
-  Латеритная кора выветривания по песчанникам.  $100 < \rho < 1500 \text{ Ом*м}$ ;  $2.5 \% < \eta$
-  Делювиальные отложения.  $1500 \text{ Ом*м} < \rho$ ;  $1.5 \% < \eta < 2.5 \%$
-  Аллювиальные отложения.  $100 \text{ Ом*м} < \rho < 1000 \text{ Ом*м}$ ;  $\eta < 1 \%$

Рисунок 11 Профиль 2.2 А - Результаты инверсии параметра УЭС; Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации



Условные обозначения

- Латеритная кора выветривания по песчанкам.  
 $100 < \rho < 1500 \text{ Ом*м}; 2.5 \% < \eta$
- Делювиальные отложения.  
 $1500 \text{ Ом*м} < \rho; 1.5 \% < \eta < 2.5 \%$
- Аллювиальные отложения.  
 $100 \text{ Ом*м} < \rho < 1000 \text{ Ом*м}; \eta < 1 \%$
- Песчаник.  $\rho < 100 \text{ Ом*м}; \eta < 1.5 \%$ .

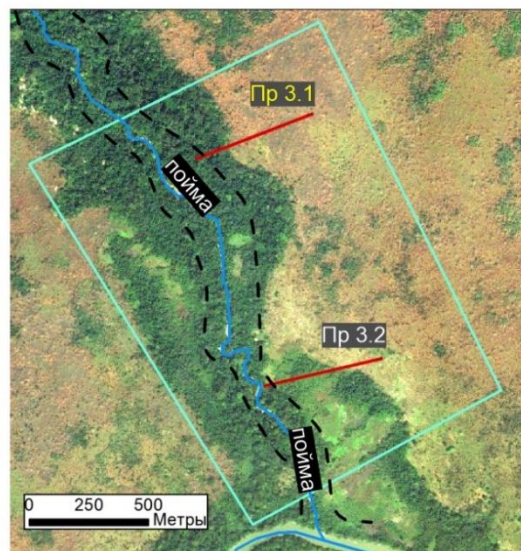
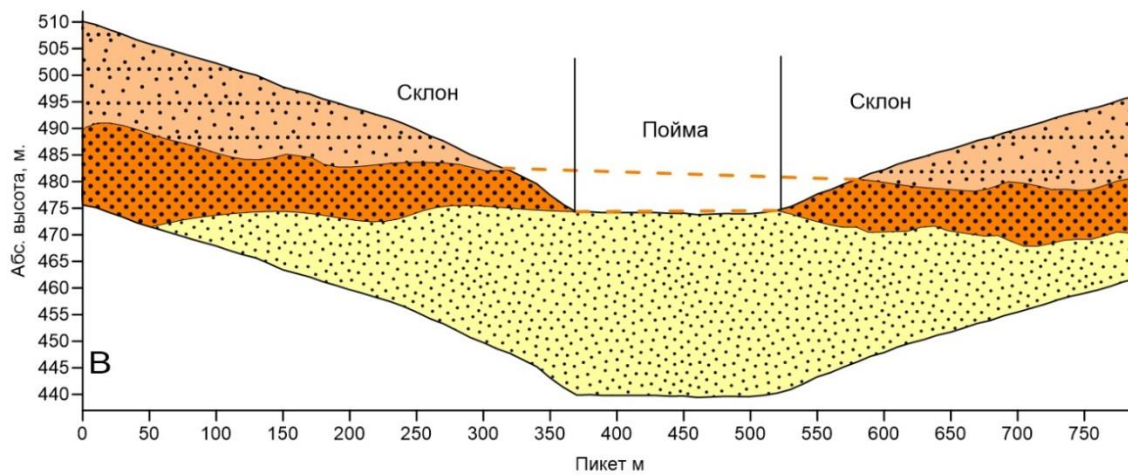
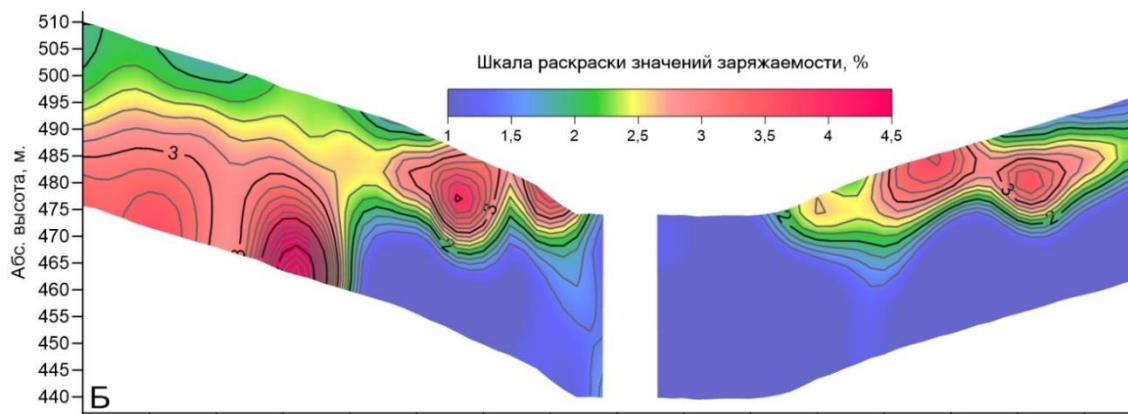
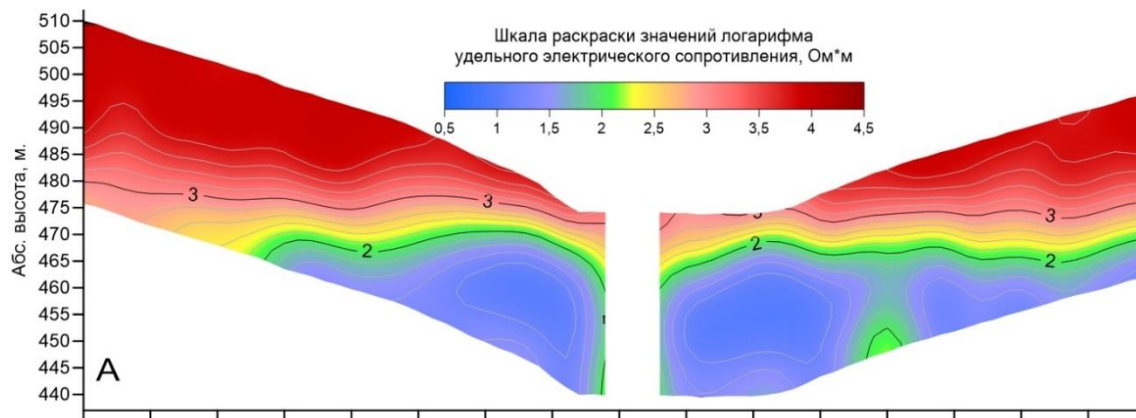





Рисунок 12. Профиль 3.1 А - Результаты инверсии параметра УЭС; Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации



Условные обозначения

-  Делювиальные отложения.  $1500 \text{ Ом*м} < \rho$ ;  $1.5 \% < \eta < 2.5 \%$
-  Латеритная кора выветривания по песчаникам.  $100 < \rho < 1500 \text{ Ом*м}$ ;  $2.5 \% < \eta$
-  Песчаник.  $\rho < 100 \text{ Ом*м}$ ;  $\eta < 1.5 \%$ .

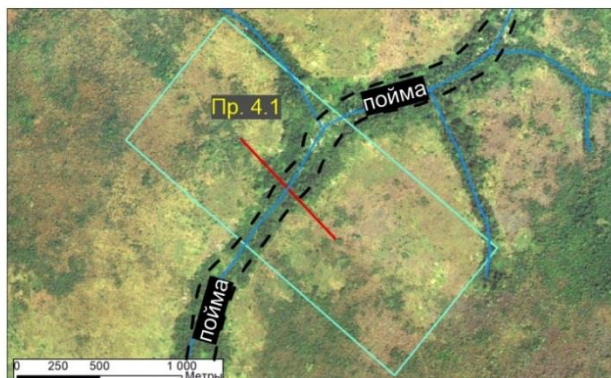


Рисунок 13 Профиль 4.1А - Результаты инверсии параметра УЭС;Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации

Детальные исследования были направлены на выделение литологических разностей и определения мощности и глубины залегания потенциально алмазоносного слоя гравелитов. Для определения геоэлектрических характеристик литологических формаций было заложено несколько эталонных профилей вдоль шуровочных линий на участки Бонги.

На основании полученных данных была создана петрофизическая характеристика пород, слагающих типичный разрез в этом районе. Данные приведены в таблице № 3.

Таблица 3

Тип пород	Значения сопротивлений	Значения заряжаемости
Делювий	1500-10000 Ом*м	1,5-2%
Гравий	1000-2000 Ом*м	2-2,5%
Коренные породы (латерит) +песчаники не измененные Аллювий данные полученны по общей съемки	100-1500 Ом*м	Более 2,5%
Песчаники	>100 Ом*м	< 1 %
Аллювий	100 Ом*м -1000 Ом*м	< 1 %

Результаты геофизических работ по эталонному профилю Бонги 8 проиллюстрированы на рисунке 15. Продуктивный слой залегает на градиентной нижней границе высокоомных рыхлых отложений и хорошо выделяется в поле ВП над поляризующимся блоком латеритов. В заверочном шурфе в локальном углублении был обнаружен алмаз весом 0.03 карата.

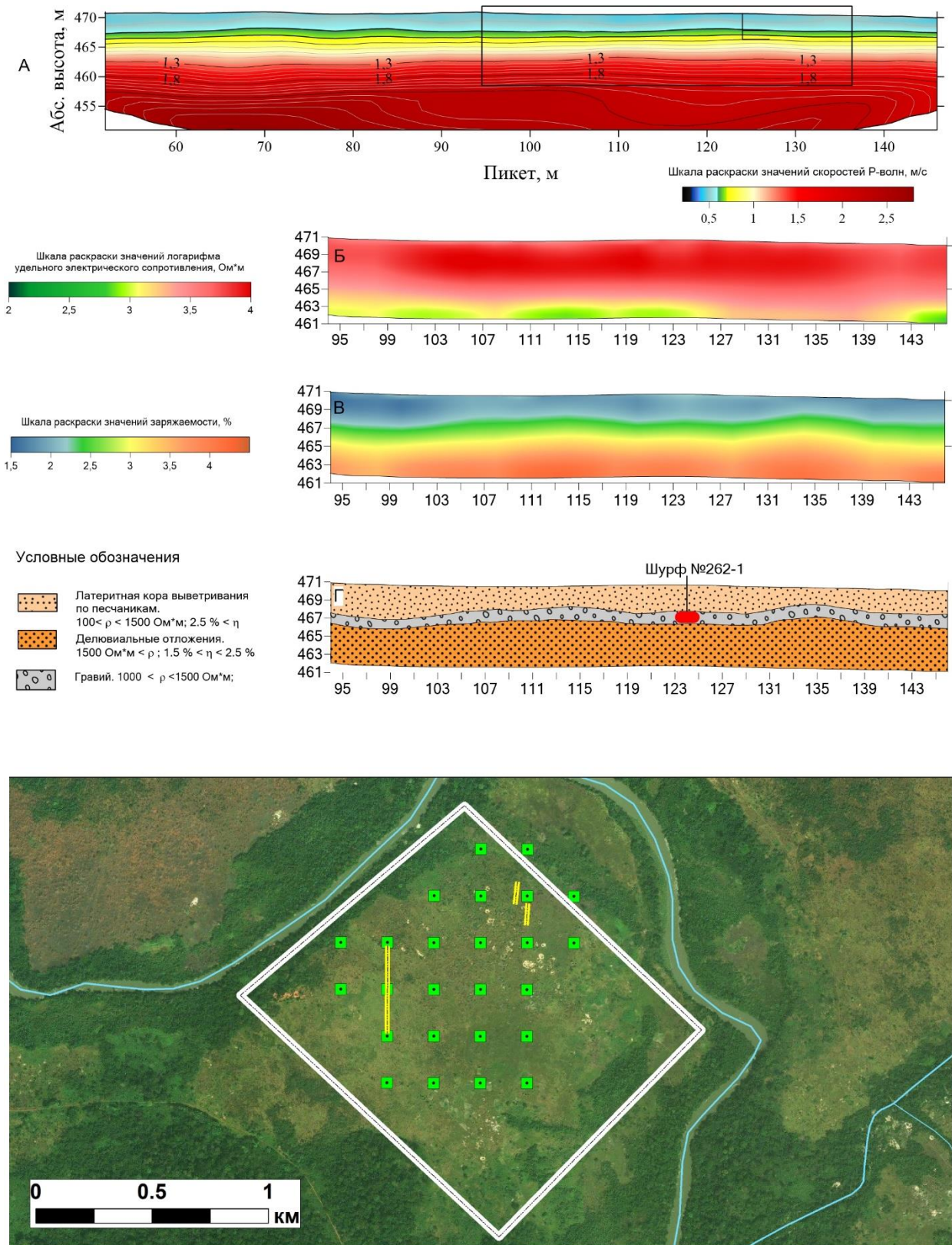


Рисунок 15 1 А-Скоростной разрез Б- Результаты инверсии параметра УЭС; В - Результаты инверсии параметра заряжаемость; Г - Геолого-геофизическая схема интерпретации

Большая часть детальных электроразведочных работ проведена недалеко от излучины реки №1. Профиль Бакези 40 (рисунок 16) почти полностью расположен на припойменной террасе. Детальные работы по электротомографии вместе с сейсморазведкой установили отсутствие значимых изменений в рельефе плотика.

В пределах одной из выявленных локальных неоднородностей был заложен шурф вскрывший продуктивный слой на заданной глубине. Прогнозируемая мощность алмазоносного слоя галечника была немного завышена, что связано с неравномерными геологическими границами. Алмазов не обнаружено. Аналогичные результаты были получены и на других детализационных профилях.

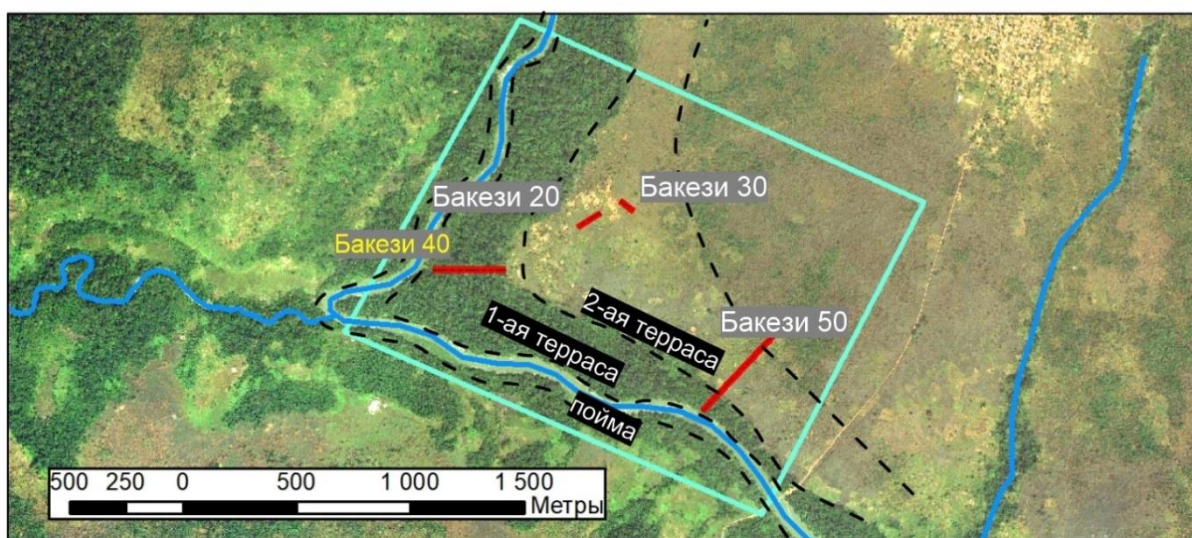
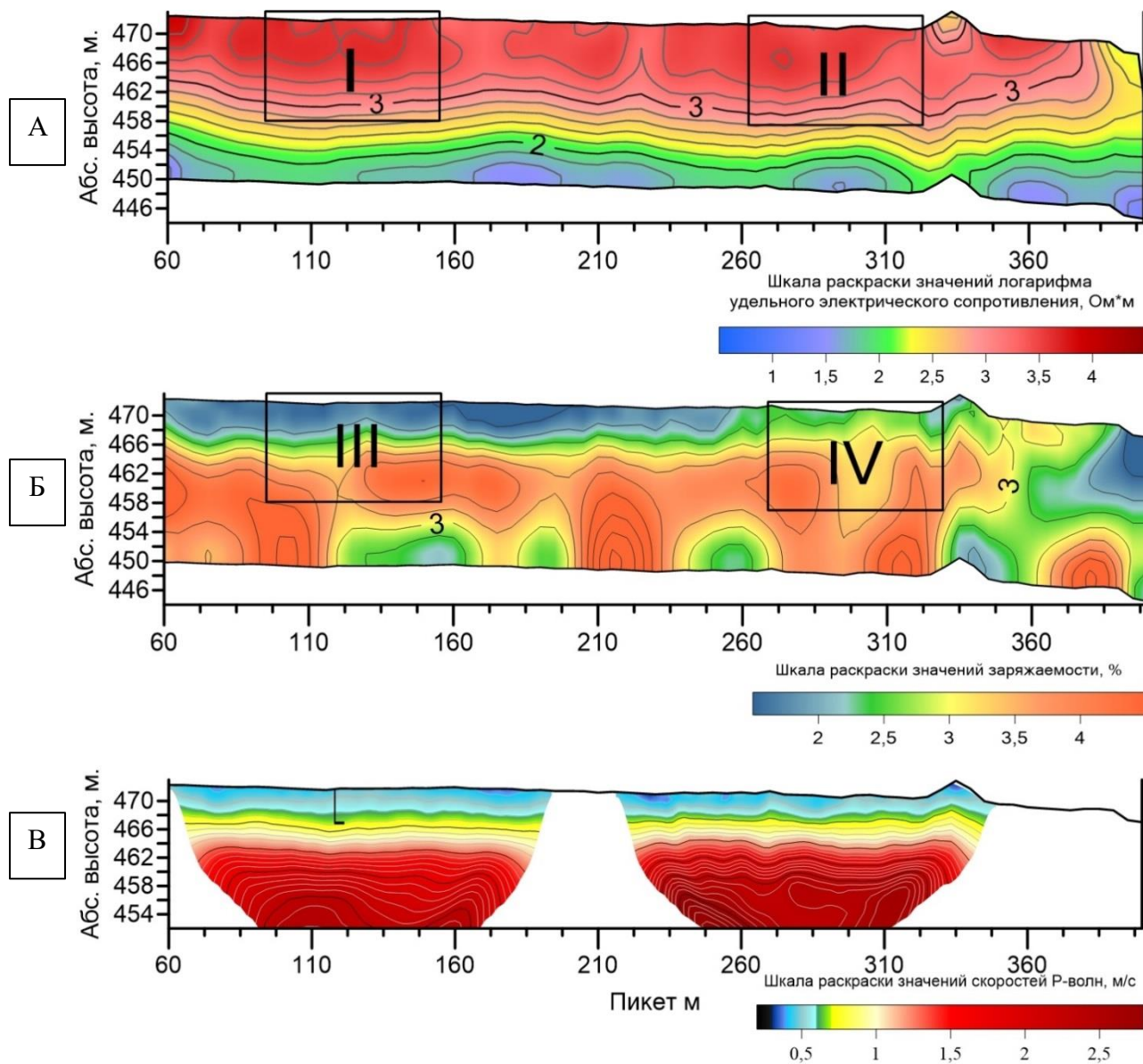


Рисунок 15 Профиль Бакези 40. А-Скоростной разрез Б- Результаты инверсии параметра УЭС;В - Результаты инверсии параметра заряжаемость;



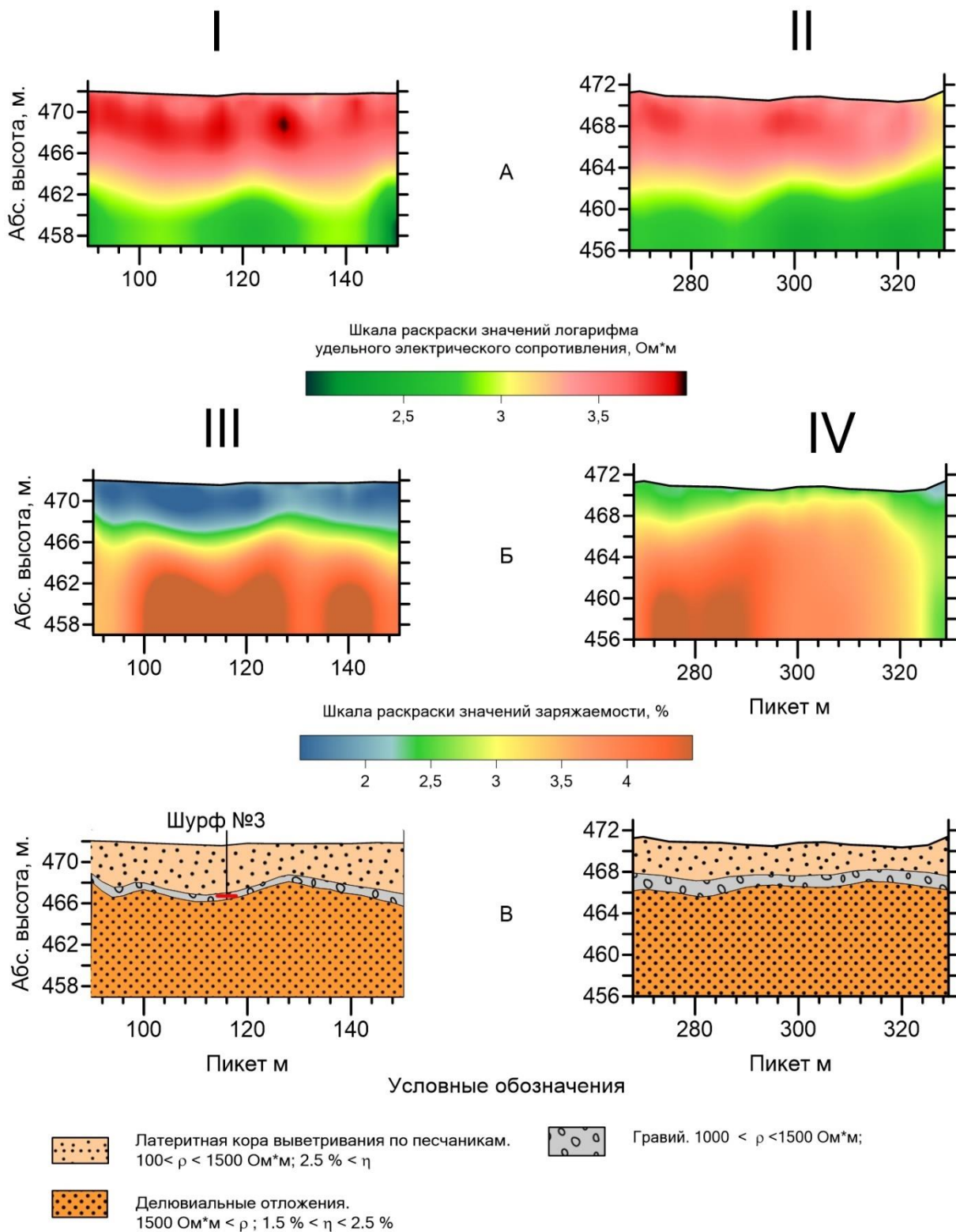


Рисунок 16 Профиль Бакези 40, деталиные работы.

А - Результаты инверсии параметра УЭС; Б - Результаты инверсии параметра заряжаемость; В - Геолого-геофизическая схема интерпретации



## Заключение

В результате проведенных работ с помощью геофизического метода разведки – электротомографии были созданы модели строения речных долин в пределах выделенных перспективных на обнаружение алмазоносных россыпей участках.

Полученные результаты были заверены горными работами и геологическими наблюдениями.

Установлено, что речные долины водотоков 2,3,4 находятся в ранней стадии развития и потенциально не могут формировать промышленно значимые россыпи. Отложения долины реки №1 детально изучены и установлена их невысокая мощность и слабая алмазаносность.

Несмотря на негативные результаты по перспективности данной площади геофизические работы методом электроразведки показали высокую достоверность результатов.

Комбинирование региональных и детальных работ позволило оперативно изучить и общее строение речных долин и выделить продуктивный слой в пределах перспективных участков. Особо ценно, что при комбинировании метода сопротивлений с методом вызванной поляризации было возможно установить глубину залегания алмазоносного пласта.

## Список использованной литературы

1. Censier C. Characteristics of Mesozoic fluvio-lacustrine formations of the western Central African Republic (Carnot Sandstones) by means of mineralogical and exoscopic analyses of detrital material // J. African Earth Sci. (and Middle East). 1990. Т. 10. № 1–2. С. 385–398.
2. Censier C., Lang J. Sedimentary processes in the Carnot Formation (Central African Republic) related to the palaeogeographic framework of Central Africa // Sediment. Geol. 1999. Т. 127. № 1–2. С. 47–64.
3. Censier C., Tourenq J. Crystal forms and surface textures of alluvial diamonds from the Western Region of the Central African Republic // Miner. Depos. 1995. Т. 30. № 3–4. С. 314–322.
4. Clifford T.N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa / Earth and Planetary Science Letters. - 1966. - № 1. - P. 421-434.
5. Григорьев В.М. Геология и полезные ископаемые Африки: Учеб. Для иностранных студентов вузов / В.М. Григорьев, Е.А. Долгинов, В.А. Поникаров и др. -М.: Недра, 1990.-415 с.
6. Кагарманов А.Х. Геология Африки и Аравии. - Л.: Недра, 1987. 140с..
7. Кинг Л. Морфология Земли. - М.: Прогресс, 1967. - 559с
8. Метелкина М.П. Докембрийские алмазоносные формации мира / М.П. Метелкина, Б.И. Прокопчук, О.В. Суходольская, Е.В. Францессон. - М.: Недра, 1976.-134 с.
9. Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и покровных образований влажных тропиков Сахарской платформы. - Л.: Недра, 1978. - 240 с.
10. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов. - М.: Недра, 1980.-331 с.
11. Устинов Виктор Николаевич Прогнозирование и поиски погребенных месторождений алмазов на основе комплексного изучения позднепалеозоических терригенных коллекторов // Записки Горного института.-2009.-Т. 183.-С. 149-159.
12. Ушаков С.А. Дрейф материков и климаты Земли / С.А. Ушаков, Н.А. Ясаманов. -М.: Мысль, 1984. - 206 с
13. Хаин В.Е. Геология и полезные ископаемые Африки. - М.: Недра, 1973а.-544 с.

14. СЗГГК «Геокомплекс» / Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. URL: <https://szggk.ru/>
15. . Центральноафриканская Республика - Страны мира - Департамент Ситуационно-кризисный центр МИД России [Электронный ресурс]. URL: [https://sos.mid.ru/countries/-/asset\\_publisher/xDkex51VuOSj/content/central-noafrikanskaarespublika](https://sos.mid.ru/countries/-/asset_publisher/xDkex51VuOSj/content/central-noafrikanskaarespublika) (дата обращения: 13.03.2019).
16. Группа компаний «Теллур» / Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. URL <http://www.tellur.org/>
17. Zond Software / Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. URL <http://zond-geo.com>