

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кудинов Артем Анатольевич

**Детальные геолого-геофизические работы при выделении продуктивного
алмазonoсного слоя в префектуре Лобае (ЦАР)**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
Направление 05.03.01 «Геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент Т.С. Сакулина

«_____» _____ 2019

Заведующий кафедрой:
д.г.-м.н., проф. К.В. Титов

«_____» _____ 2019

Санкт-Петербург

2019

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа написана по материалам, полученным в ходе летней производственной практики на территории Центральноафриканской республики. Объектом исследования является россыпь алмазов, расположенная в провинции Карно-Берберати. Целью работ являлось изучение строения речных долин и верхней части разреза участка работ с помощью методов электроразведки (ТЭЗ ВП) и сейсморазведки (КМПВ). По результатам комплексных геофизических работ были получены геофизические разрезы и была заложена серия шурфов, вскрывших продуктивный слой на рассчитанной глубине.

Автор выпускной квалификационной работы занимался сейсмическими работами методом преломленных волн (МПВ), включая проведение сейсмических наблюдений и последующую обработку данных МПВ. В работе уделено внимание геологии Центральноафриканской республики, практическим нюансам выполнения сейсморазведочных работ, обработке сейсмических данных МПВ с использованием программных средств (RadExPro, XТomo-LM, ZondST2D) и комплексной интерпретации геолого-геофизической информации.

Объём работы составляет 46 страниц, 30 иллюстраций, 4 таблицы. Работа разделена на 5 глав (Физико-географический очерк, Геологический очерк, Методика полевых работ, Обработка сейсмических данных, Результаты работ). При написании использовалось 24 источника информации.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Физико-географический очерк.....	6
2 Геологический очерк.....	10
2.1 Общие сведения по геологии терригенных коллекторов алмазов	10
2.1.1 Основные виды алмазопроявления.....	10
2.1.2 Прогнозно-поисковые типы проявления кимберлитовых полей в терригенных коллекторах алмазов	11
2.2 Геология Центральноафриканской Республики	14
3 Методика полевых работ	22
3.1 Основы метода преломленных волн	22
3.2 Полевые работы.....	23
3.2.1 Сейсмическое моделирование.....	24
3.2.2 Техническое обеспечение	25
3.2.3 Опытнo-методические работы	28
4 Обработка сейсмических данных	30
5 Результаты работ	35
Заключение	44
Список литературы	45

ВВЕДЕНИЕ

В период с 21 июня 2018 г. по 12 сентября 2018 г. компанией ООО «СЗГГК «Геокомплекс» (СЗГГК «Геокомплекс») были проведены комплексные геофизические работы на территории Центральноафриканской республики (далее ЦАР).

Целью проводимых работ являлось нахождение участков перспективных на наличие алмазоносных россыпей. В ходе исследований были поставлены следующие задачи (СЗГГК «Геокомплекс»):

1. Изучение строения речных долин: выделение террас, пойм, определение расположения палеорусел, выделение перспективных участков.
2. Разделение верхней части разреза по физическим свойствам.
3. Выбор рационального комплекса методов для поиска россыпей в префектуре Лобае.

Комплекс геофизических исследований состоял из электроразведочных (точечное электрическое зондирование вызванной поляризации, ТЭЗ ВП) и сейсморазведочных работ (корреляционный метод преломленных волн, КМПВ). В результате было выполнено 10 погонных километров (далее п.км) поисковых и 2 п.км детализационных электроразведочных работ, а также 2,1 п.км сейсморазведочных работ. По результатам комплексных геофизических работ были получены геофизические разрезы и была заложена серия шурфов, вскрывших продуктивный слой на рассчитанной глубине.

Геофизическим исследованиям предшествовали геологоразведочные работы (ГРР), проводимые заказчиком. Целью работ являлось изучение литологических характеристик района, выделение наиболее перспективных участков и закономерностей, связанных с распространением россыпей алмазов.

Автор выпускной квалификационной работы (далее ВКР) принимал непосредственное участие в проводимых работах, а именно занимался сейсмическими работами методом преломленных волн (МПВ), включая проведение сейсмических наблюдений и последующую обработку данных МПВ. Таким образом, в ВКР основное внимание будет уделено сейсморазведке МПВ.

Целью настоящей ВКР является изучение верхней части разреза исследуемого участка работ. При выполнении ВКР были поставлены следующие задачи:

1. Изучение геологии района работ.
2. Получение практических навыков по выполнению сейсмических работ МПВ.

3. Обработка сейсмических данных МПВ с использованием программных средств (RadExPro, XТomo-LM, ZondST2D).
4. Комплексная интерпретация геолого-геофизической информации.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Центральноафриканская республика расположена в центральной части Африки (рис. 1), её координаты варьируются в интервале 2° - 11° северной широты и 14° - 28° восточной долготы. Площадь составляет 622984 км^2 , что сопоставимо с площадью Украины. На севере ЦАР граничит с такими странами, как Чад, Судан; на востоке – Южный Судан; на юге – Демократическая республика Конго (ДРК), Конго; на западе – Камерун. Общая длина государственной границы составляет 5203 км. Столицей государства является город Банги. По форме правления – президентская республика. Административное деление ЦАР представлено 17 префектурами (Центральноафриканская Республика // ДСКЦ МИД России; Central African Republic: Finance and trade // Encycl. Br.; Central African Republic // World Factb.). Прямого транспортного сообщения ЦАР с Россией нет. Перелеты из Москвы и Санкт-Петербурга осуществляются в основном через Париж, Касабланку, Дубай, Амстердам, Найроби. Время полета около 10 часов (Консульский Департамент МИД России).

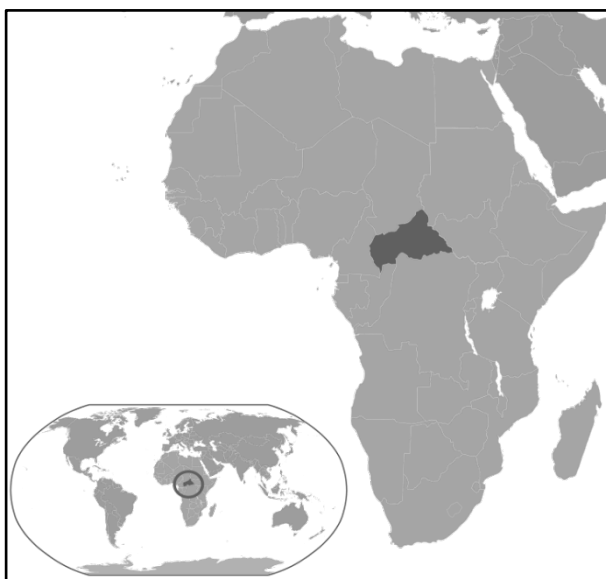


Рисунок 1 Расположение Центральноафриканской республики

Рельеф страны представляет собой плоскогорье с интервалами высот от 600 до 900 метров. На востоке наблюдается общий уклон к югу, к рекам Мбому и Убанги. Главные реки на востоке страны – Шинко и Мбари – являются судоходными в нижних течениях, выше прохождению судов препятствуют пороги. Самая высокая точка – гора Нгауи (1410 м), расположенная на северо-западе страны; самая низкая – река Убанги (335 м) (Central African Republic: Finance and trade // Encycl. Br.; Central African Republic // World Factb).

Климат и растительность имеют широтную дифференциацию. Так на юго-западе сохранились густые влажные тропические леса. В направлении на северо-восток происходит смена лесов саванновыми редколесьями и злаковниками. Климат экваториально-муссонный, жаркий. Выделяются два сезона — сухой (с октября по май со средней температурой +32 °С) и дождливый (с июня по сентябрь, средняя температура +21 °С). Влажность воздуха более 80 %. Среднегодовое количество осадков — от 1000 до 1600 мм.

Транспортная система в республике развита плохо: из 26 тыс. км дорог асфальтировано менее 700 км, железные дороги отсутствуют. Количество машин на дорогах небольшое. Дорожное движение правостороннее. Правила дорожного движения не соблюдаются (Консульский Департамент МИД России).

Промышленность (20% ВВП) представлена добычей золота и алмазов, лесозаготовками. Хотя на территории ЦАР присутствуют месторождения алмазов, золота, железа, меди, олова, урана и никеля, их добыча развита очень плохо. Это связано с малой изученностью региона и с низкими кондициями полезных компонент в породах (имеют локальное значение) (рис. 2) (Schlüter, 2006).

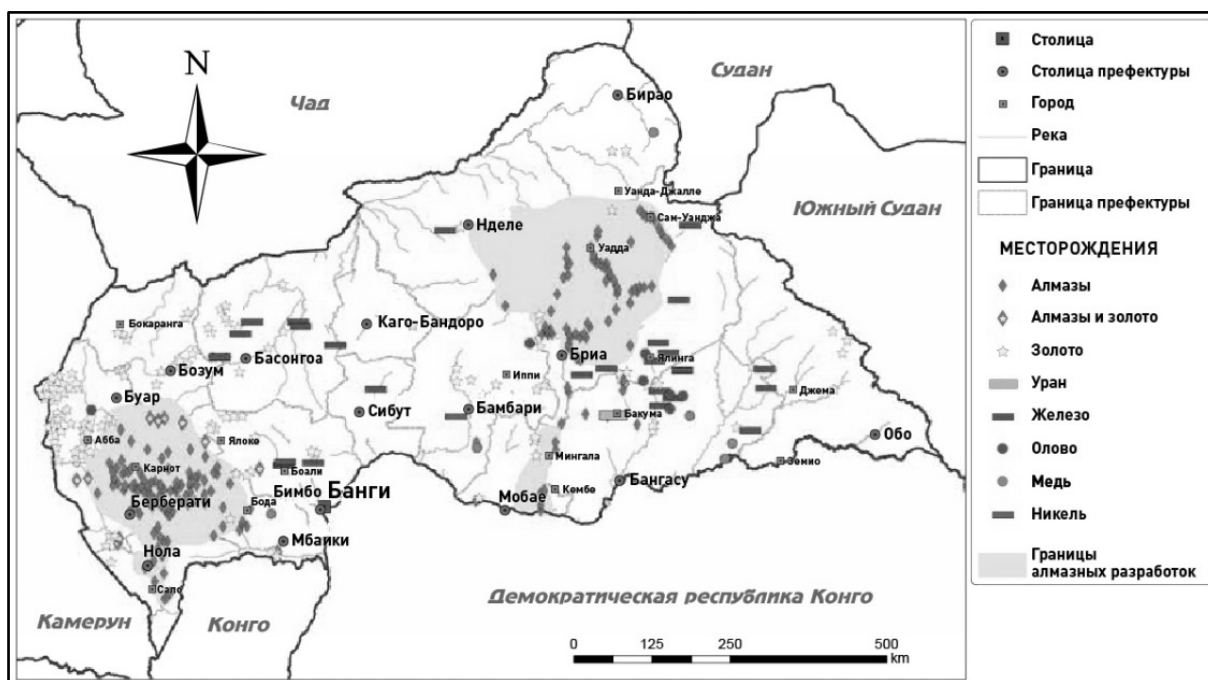


Рисунок 2 Карта месторождений полезных ископаемых ЦАР

Участок работ расположен в юго-западной части ЦАР, в префектуре Лобае, находящейся под контролем правительства (рис. 3) (Консульский Департамент МИД России).

Добраться до участка работ из столицы республики, Банги, можно на автомобиле. Единственными подъездами являются грунтовые дороги, которые

становятся непригодными для использования в сезон дождей. Так же до района работ можно добраться на вертолете или самолете. В крупных районных центрах присутствуют взлетные полосы, предназначенные для легких самолетов.



Рисунок 3 Участок работ

Исследуемый район пересекается крупными водотоками. Крупными реками являются Лобае, Бакези, Топпа и Банги. Переправа через реки осуществляется паромным способом (рис. 4). Реки не судоходны, так как имеют большое количество порогов. Поймы рек имеют в некоторых местах мангровую растительность. В сезон дождей низовья долины рек сильно заболачиваются, что приводит к затруднению, а порой и к полной остановке работ на этих участках.

При проведении работ следует учитывать наличие агрессивной фауны и густой растительности. В разные времена года можно наблюдать миграцию крупных млекопитающих (слоны, гиппопотамы) и насекомых (пауки, гусеницы, муравьи), некоторые из которых могут быть ядовитыми. Растительность ближе к основным водотокам представлена густыми влажными тропическими лесами. При удалении от рек наблюдаются редколесья и саванны, на которых растут метровые злаковники.

Рельеф участка работ представлен плоскогорьем со значением абсолютных высот около 500 м. Плоскогорье изрезают реки, долины которых имеют высоты около 470-480 м. Максимальные углы склонов долин рек около 10%.



Рисунок 4 Паромная переправа на р. Лобае (из фотоархива Воробьёва Ю.В.)

Местное население занимается аграрным хозяйством, большая часть мужского населения является «чернокопателями». Население добывает кустарными методами алмазы и золото.

2 ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

2.1 Общие сведения по геологии терригенных коллекторов алмазов

2.1.1 Основные виды алмазопроявления

На основании анализа обширных материалов по месторождениям алмазов Земли исследователями было установлено, что наиболее высоко алмазоносные кимберлитовые тела приурочены к областям раннеархейской кратонизации. В свою очередь проявления коренных алмазоносных пород могут быть разного возраста (Устинов, 2015).

Россыпь – скопление рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего алмазы, которые поступили в осадки в результате денудации коренных источников или терригенных коллекторов. Россыпным месторождением является россыпь, рентабельная в настоящее время для промышленной разработки (Устинов, 2015).

Алмазоносные территории могут отличаться особенностями проявления магматических процессов в пространстве и во времени в результате различного глубинного строения. Это относится к проявлениям кимберлитов и лампроитов, которые вместе с лампрофирами относятся к одной группе, входящей в гипабиссальный класс пород (Петрографический кодекс..., 1995).

За последние десятилетия наряду с кимберлитовыми и лампроитовыми коренными источниками стали известны и другие породы, содержащие алмазы. К ним относятся коматииты Гайаны, Ганы и лампрофиры Канады. Выявлены алмазопроявления, связанные с низкотемпературными метаморфическими процессами, происходящими в коровых условиях (алмазопоявление Кумды-Коль) и с гипербарическими процессами ударного метаморфизма (Попигайская астроблема). Однако разрабатываемые в настоящее время коренные месторождения алмазов представлены только кимберлитами или лампроитами. Причем подавляющая их часть относится к кимберлитам. До последних лет крупнейшие из них были связаны только с телами трубчатой формы. Однако обнаруженный в конце 90-х гг. прошлого века комплекс кимберлитовых даек в районе оз. Снэп- Лейк (кратон Слейв, Канада) ставит дайковый тип месторождений в разряд экономически значимых (Устинов, 2015).

Коренные источники алмазов часто проявляются в осадочных толщах в виде ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и родственных пород.

Наибольший практический интерес при проведении прогнозно-поисковых работ среди ИМК, наряду с алмазом, представляют пироп, пикроильменит, хромдиопсид и хромшпинелид. Ореолы характеризуются повышенными содержаниями ИМК относительно фоновых и нередко включают промышленные россыпи алмазов. Вся совокупность кимберлитовых минералов в терригенных коллекторах образует шлейфы или ореолы рассеяния. По взаимоотношению с источниками (коренными или терригенными коллекторами) они подразделяются на россыпи и ореолы рассеяния ближнего (до 5-10, иногда до 12-15 км), умеренного (обычно до 30-40 км) и дальнего (десятки и сотни км) переноса.

Среди алмазов выделяется 11 минералогических и морфогенетических разновидностей, предложенных (Орлов, 1984) и дополненных (Зинчук, Коптиль, 2003). По набору типоморфных признаков (размер, кристалломорфологические особенности, скульптуры роста, растворения и коррозии, физические свойства, твердые включения, изотопный состав углерода и др.) уже на начальной стадии работ можно делать предварительные выводы о потенциальной алмазоносности коренных источников (Милашев, 2010).

Месторождения алмазов известны на открытых и закрытых территориях древних платформ. Открытые площади характеризуются маломощным (до 3 м) чехлом рыхлых, преимущественно четвертичных, отложений (рис. 5). Закрытые территории отличаются мощностями перекрывающих отложений от 3 до 200 м. Глубина 200 м является порогом экономической целесообразности поисков месторождений алмазов. Иногда выделяются так называемые полузакрытые площади с мощностями посткимберлитовых толщ от 3 до 20 м (Устинов, 2015).

Прогнозирование и поиски месторождений алмазов, перекрытых толщами более молодых образований, являются значительно более сложными, чем на открытых территориях.

2.1.2 Прогнозно-поисковые типы проявления кимберлитовых полей в терригенных коллекторах алмазов

При проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы на закрытых территориях нужно учитывать, что кимберлитовые тела после окончательного формирования имеют различную историю развития. Чередование многократных эпох размыва коренных источников, транспортировки ИМК и последующей их аккумуляции в терригенных коллекторах может приводить в конечном счёте к значительному разному

продуктов их разрушения на площади до окончательного захоронения в осадочных толщах (Устинов, 2015).

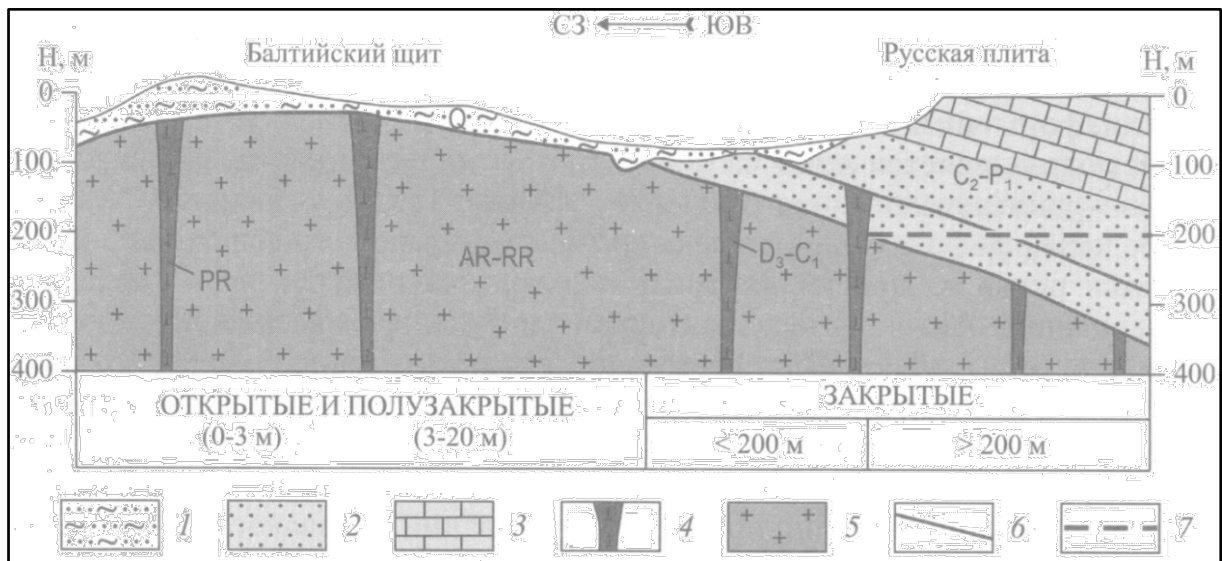


Рисунок 5 Типы площадей (открытые, полузакрытые, закрытые) по глубинам залегания пород кимберлитовмещающего цоколя (на примере севера Восточно-Европейской платформы) (Устинов, 2015).

Примечания: 1 – четвертичные отложения; 2-3 – верхнепалеозойские отложения: 2 – песчаники, 3 – известняки; 4 – кимберлитовые тела (среднепалеозойские, D₃-C₁, и протерозойские, PR); 5 – породы архейско-протерозойского кристаллического фундамента; 6 – поверхность кимберлитовмещающего цоколя; 7 – уровень экономической целесообразности поисков месторождений алмазов.

Интенсивность размыва кимберлитовых тел обуславливает не только суммарную дальность транспортировки тяжелых минералов от первоисточников, но и величину их денудационного среза, что напрямую увязывается с объемом ИМК и алмазов, переведенных в россыпи (Борис, 1998). Коллекторы содержат информацию не только о последнем этапе геолого-геоморфологического развития площадей формирования кимберлитовых тел, кустов, полей и т.д., но и об особенностях предыдущей эволюции территории, а также о количестве этапов переотложения ИМК до погребения, что обычно характеризуется соответствующими изменениями первичных признаков кимберлитовых минералов (концентрация, степень износа, сортировка, мономинеральность) (Устинов, 2015).

Выделяются три прогнозно-поисковых типа кимберлитовых полей, которые по-разному проявляются в терригенных коллекторах (рис. 6) (Устинов, 2015). К первому типу относятся слабо срезанные кимберлитовые поля с локальным шлейфом рассеяния ИМК, ко второму – умеренно срезанные поля с площадным шлейфом рассеяния ИМК, к третьему – сильно срезанные поля с региональным шлейфом рассеяния ИМК.

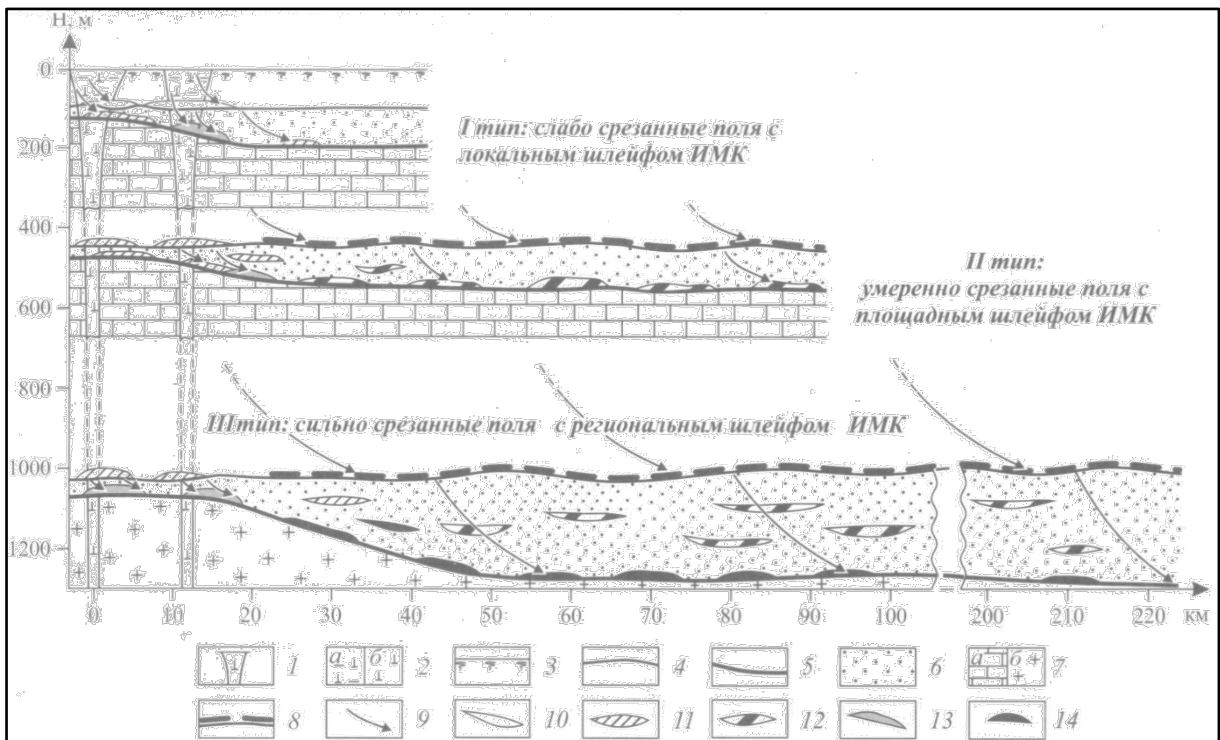


Рисунок 6 Прогнозно-поисковые типы проявления погребенных кимберлитовых полей в терригенных коллекторах (Устинов, 2015).

Примечания: 1 – тела кимберлитов и родственных пород; 2 – фации коренных алмазоносных пород: а – кратерные, б – диатремовые; 3 – дневная поверхность на момент внедрения коренных источников; 4 – поверхность выравнивания последнего этапа развития рельефа; 5 – поверхность кимберлитовмещающего цоколя, погребенная под толщей терригенных коллекторов алмазов; 6 – терригенные коллекторы алмазов; 7 – породы кимберлитовмещающего цоколя: а – чехла платформы, б – кристаллического основания; 8 – реконструированный шлейф разноса кимберлитовых минералов от коренных источников на поверхности денудационного выравнивания; 9 – доминирующие направления переотложения кимберлитовых минералов; 10-12 – ореолы рассеяния ИМК: 10 – первичные, 11 – смешанные, 12 – вторичные; 13-14 – россыпи алмазов: 13 – первичные и смешанные, 14 – вторичные

Сильно срезанные поля с региональным шлейфом рассеяния ИМК (III прогнозно-поисковый тип) включают в себя кимберлитовые тела, представленные нижними частями диатрем или подводными каналами. Величины денудации оцениваются многими сотнями метров и в основном превышают 1000 м (Устинов, 2015).

Примерами площадей с высокоэродированными коренными источниками могут служить алмазоносные поля, входящие в состав районов Мука-Уадда и Карно-Берберати на северном борту синеклизы Конго Африканской провинции, где прогнозируются

кимберлиты (Chirico et al., 2010). Район Карно-Берберати является целью исследования настоящей ВКР.

Ореолы формируются за счет размыва более древних промежуточных коллекторов и заключены в фациях ближнего, умеренного или дальнего переноса. В ореолах и россыпях дальнего переноса встречается значительная доля алмазов со следами механического износа выкрашивания и истирания (до 15—17 %). Среди алмазов встречаются зерна с шаровидным износом (Устинов, 2015).

По сравнению с кимберлитами существенно изменяется гранулометрический спектр алмазов. Происходит разделение общей популяции камней на две ассоциации (мелкую и крупную), что является результатом многократной пересортировки зерен по гидравлической крупности (Устинов, 2015).

На площадях III типа возникают наиболее сложные поисковые ситуации. Значительный срез источников обуславливает большое количество этапов переотложения и пересортировки обломочного материала и тем самым предполагает большие суммарные расстояния транспортировки алмазов и других минералов от коренных пород. Несмотря на приуроченность ореолов преимущественно к фациям ближнего или умеренного, реже дальнего переноса, ИМК на большей части территорий поступали из более древних промежуточных коллекторов. В таких обстановках значительная часть коренных источников алмазов переведена в россыпи, с которыми и связаны основные перспективы площадей. Оконтуривание и выявление тел кимберлитов и родственных пород, которые обладают на площадях III типа незначительными размерами, крайне сложно, основные перспективы алмазоносности связаны с россыпями (Устинов, 2015).

2.2 Геология Центральноафриканской Республики

Территория северного склона синеклизы Конго характеризуется огромным размером (от сотен до тысяч км) области распространения алмазов в древних коллекторах, который в сотни раз превышает площади предполагаемых коренных источников. Мощность продуктивной толщи широкого возрастного диапазона с большим количеством алмазоносных горизонтов измеряется от десятков до сотен метров. Уже на расстоянии 40—50 км от предполагаемых коренных источников (Sutherland, 1982) в результате процессов многократного переотложения и химического выветривания россыпи алмазов характеризуются преимущественно мономинеральным составом при отсутствии других кимберлитовых минералов.

Алмазоносные районы Мука-Уадда и Карно-Берберати (рис. 7) располагаются на территории Камеруна, Конго, ДРК и ЦАР и находятся в пределах Центральноафриканского докембрийского массива (Кагарманов, 1987). Центральноафриканский массив относится к области раннеархейской (трансваальской) консолидации (Хаин, 1973).

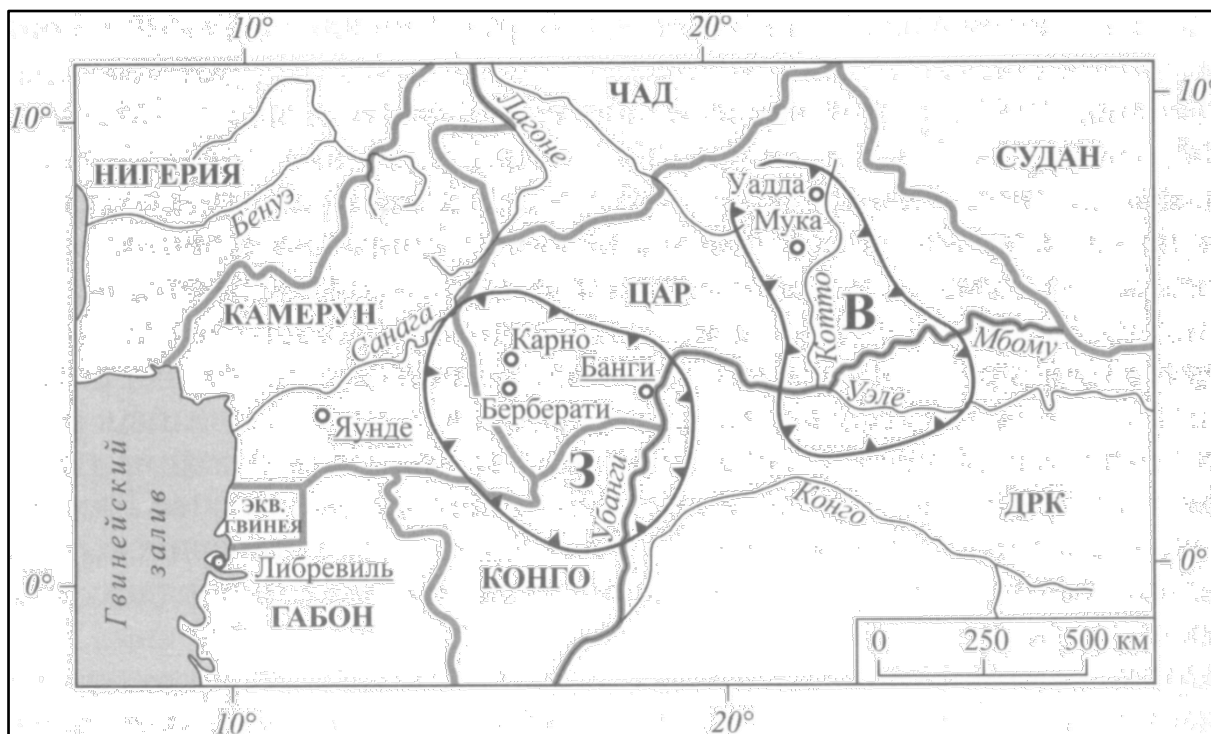


Рисунок 7 Алмазоносная область Убанги-Шари в Центральной Африке (Устинов, 2015).

Примечания: 3 – район Карно-Берберати, В – район Мука-Уадда

В геологическом строении территории (рис. 8) выделяются породы архейско-раннепротерозойского кристаллического фундамента, которые распространены на большей части территории страны (Schlüter, 2006). Перекрывающие их локально развитые отложения позднепротерозойско-фанерозойского чехла развиты в области выклинивания отложений платформенного комплекса крупной плиты Конго. Среди отложений платформенного чехла, с разрывом и несогласием перекрывающих разновозрастные породы фундамента, выделяются отложения позднего протерозоя и фанерозоя. В составе позднепротерозойских отложений выделяются три осадочных цикла, формирование которых относится к интервалу от 1600 до 650 млн. лет. Рифейские образования представлены толщей чередования кварцитовидных песчаников и серицитовых сланцев. Докембрийские породы прорваны интрузиями позднепротерозойских долеритов и венд-кембрийских гранитоидов (Chirico et al., 2010; Schlüter, 2006. Среди фанерозойских отложений ЦАР выделяются терригенные

коллекторы алмазов палеозоя, мезозоя и кайнозоя суммарной мощностью в тысячу метров и более (Censier, Lang, 1999; Chirico et al., 2010; Устинов, 2015).

Палеозойские коллекторы алмазов мощностью до 50 м выделяются в свиту Мамбере. Они повсеместно залегают на породах докембрийского кристаллического основания и перекрыты меловыми песчаниками свиты Карно-Берберати. В их составе выделяются собственно ледниковые отложения (тиллиты) и разнообразные водно-ледниковые образования. Возраст отложений бездоказательно датируется поздним девонем-карбоном (Censier, Lang, 1992; Censier, Lang, 1999; Chirico et al., 2010; Устинов, 2015).

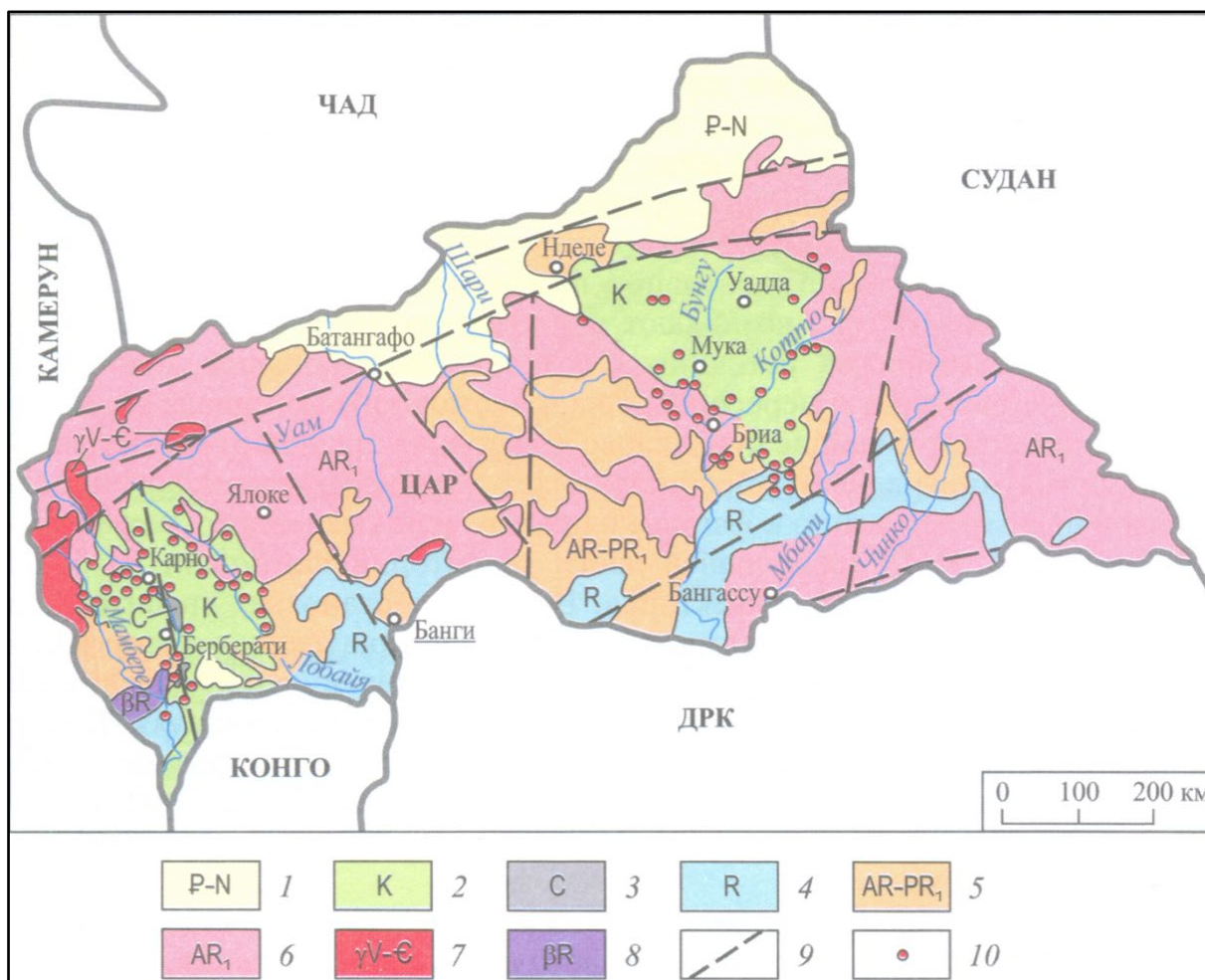


Рисунок 8 Обзорная геологическая карта районов россыпной алмазоносности Мука-Уадда и Карно-Берберати (Устинов, 2015).

Примечания: 1-3 – терригенные палеоген-неогеновые (1), меловые (2) и каменноугольные (3) отложения; 4 – терригенно-карбонатные рифейские отложения; 5 – архейско-раннепротерозойские кварцитовые сланцы; б – раннеархейские гнейсы, гранулиты, мигматиты; 7 – венд-кембрийские гранитоиды; 8 – рифейские долериты; 9 – разрывные нарушения; 10 – промышленные россыпи

алмазов

На основании изучения минерального состава легкой и тяжелой фракций, петрографического состава крупнообломочного материала и анализа результатов ранее проведенных работ (Censier, Lang, 1999; Chirico et al., 2010) можно заключить, что отложения свиты Мамбере имеют значительное сходство по вещественному составу с образованиями архейско-раннепротерозойских кварцитовых сланцев, за счет размыва которых они в основном и были сформированы (Устинов, 2015). Во флювиогляциальных отложениях, перекрывающих алевритистые аргиллиты собственно ледниковых отложений, обнаружены алмазы. Промышленных россыпей в палеозойских коллекторах ледникового генезиса не установлено.

Меловые коллекторы залегают преимущественно на породах докембрия, реже на каменноугольных отложениях свиты Мамбере, выполняя депрессии на поверхности архейско-нижнепротерозойского цоколя. Центральные части отрицательных структур являются погребенными под толщей этих отложений и нигде полностью не прорезаются современными водотоками в отличие от их краевых частей. Мощность раннемеловых отложений оценивается величинами от 200 до 400—500 м в центральных частях депрессий, полностью выклиниваясь в периферических областях (Censier, 1990; Censier, Lang, 1999).

Меловые отложения представлены циклично построенной толщей чередования разнозернистых песчаников с прослоями конгломератов. В целом для разреза каждого циклита (1-5 м) характерно уменьшение зернистости вверх по разрезу: от конгломератов и грубозернистых песчаников или гравелитов в их нижних частях до более тонкозернистых песчаных разностей с прослоями алевролитов в верхах. В основании разреза мезозойских отложений, как правило, залегают базальные конгломераты, имеющие мощность около одного метра. Они представлены валунно-галечными образованиями с обломками размером до 15-20 см. В некоторых случаях базальные конгломераты отсутствуют, а на породах цоколя залегают разнозернистые песчаники или гравелиты. Крупнообломочный материал представлен хорошо окатанными гальками и валунами преимущественно кварца, кварцитов, а также глинистых алевролитов бурого или сиреневого цвета, являющихся продуктами размыва отложений ледникового комплекса свиты Мамбере. Вверх по разрезу образования базального горизонта сменяются толщей песчаников, занимающих большую часть разреза мезозойских отложений (Censier, 1990; Censier, Lang, 1999; Устинов, 2015).

В гравелитах и конгломератах свит Мука-Уадда и Карно-Берберати, относимых к русловым аллювиальным фациям, установлены как отдельные алмазы, так и мелкие россыпи, разрабатываемые старателями [Chirico, Barthélémy, Ngbokoto, 2010]. Среди

меловых россыпей, связанных со свитами Мука-Уадда и Карно-Берберати, выделяются два морфогенетических типа (Устинов, 2015): 1) русловые россыпи малых и средних рек, 2) русловые россыпи аллювиальных равнин (рис. 9).

Четвертичные коллекторы представлены полифациальными образованиями: элювиальными, делювиальными, аллювиальными и другими. Алмазонасными являются лишь аллювиальные фации, которые развиты в основном в долинах правых притоков р. Убанги – рек Мамбере, Котто и других, реже в верховьях рек бассейна р. Шари. Они с размывом залегают на кристаллических породах архейского-раннепротерозойского фундамента, палеозойских отложениях свиты Мамбере и на меловых коллекторах свит Мука-Уадда и Карно-Берберати (Chirico et al., 2010; Устинов, 2015).

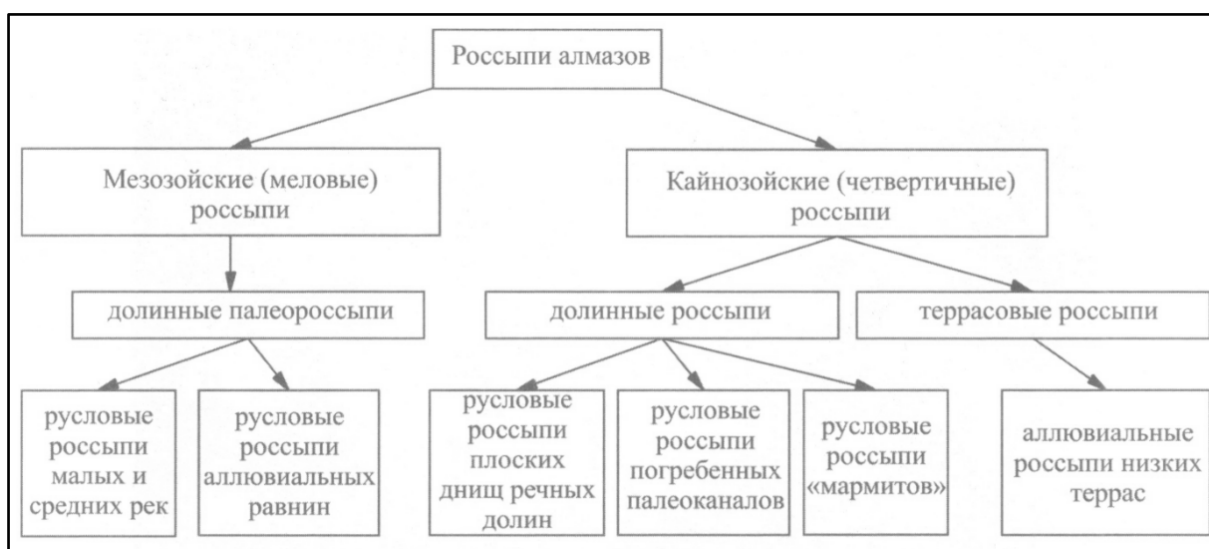


Рисунок 9 Морфогенетические типы мезозойских и кайнозойских россыпей алмазов районов Мука-Уадда и Карно-Берберати на северном склоне синеклизы Конго (Устинов, 2015)

Основными особенностями Центральноафриканских алмазов являются следующие (Censier, Lang, 1999; Censier, Tourenq, 1995): 1) преобладание округлых форм над плоскогранными; 2) присутствие среди алмазов цветных камней, в том числе и розовых; 3) наличие на алмазах зеленоватого или голубоватого оттенка, исчезающего при огранке; 4) присутствие следов механического выкрашивания и истирания на поверхностях алмазов; 5) значительное ожелезнение по трещинам; 6) большое (10-15 %) количество карбонадо в россыпях; 7) высокие качество и стоимость камней и значительный средний вес (0,25—0,85 кар.).

Наиболее вероятными источниками алмазов из россыпей районов Мука-Уадда и Карно-Берберати являются докембрийские кимберлиты или родственные породы (Censier, Lang, 1999; Chirico et al., 2010; Устинов, 2015). На основании

палеорекоконструкций (Censier, Lang, 1999) можно заключить, что протерозойские кимберлиты, являющиеся первоисточниками алмазов в россыпях, могут быть установлены в пределах юго-восточной и юго-западной частей ЦАР и на прилегающих к ней северных территориях Конго и ДРК (рис. 10).

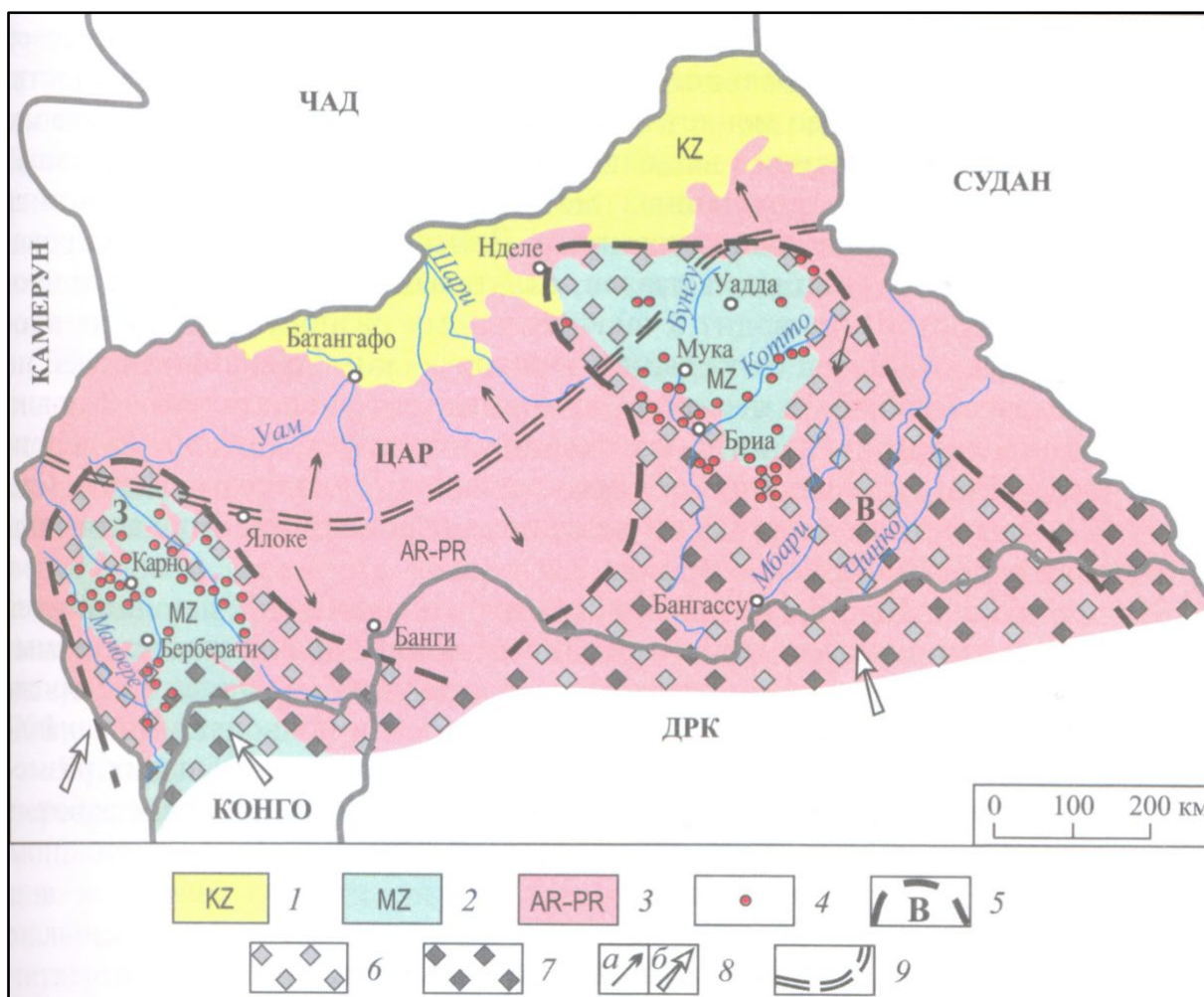


Рисунок 10 Карта прогноза алмазоносности площадей III прогнозно-поискового типа, составленная на основе комплексного анализа протерозойских, палеозойских, мезозойских и кайнозойских терригенных коллекторов районов Мука-Уадда и Карно-Берберати (Африканская платформа) (Устинов, 2015).

Примечания: 1-3 – группы пород: 1 – кайнозойских, 2 – преимущественно мезозойских (меловых) и фрагментарно развитых палеозойских (каменноугольных), 3 – докембрийских; 4 – промышленные россыпи алмазов; 5 – районы россыпной алмазоносности: 3 – Карно-Берберати (Западный), В – Мука-Уадда (Восточный); 6 – области прогнозируемых россыпей алмазов; 7 – области распространения прогнозируемых протерозойских высоко срезанных коренных источников алмазов; 8 – основные направления транспортировки алмазов в кайнозойское (а) и докайнозойское (б) время; 9 – ось Главного Центрально-Африканского водораздела эоценового заложения.

Исследуемый район работ входит в состав провинции Карно-Берберати.

На основании проведенных геолого-геофизических и горных работ получена информация о строении верхней части разреза и петрофизике вмещающих пород. Продуктивный слой залегает на глубинах до 20 метров. Упрощенная стратиграфическая колонка района работ, выполненная по результатам полевых работ, представлена на рис. 11.

Коренные породы на участке представлены песчаниками и конгломератами формации Карно-Берберати. Верхний слой песчаников сильно выветрелый, исключения составляют пойменные части водотоков, где зона выветривания вымыта, наблюдаемая мощность коры выветривания колеблется от первых метров до первых десятков метров. По электрическим параметрам верхняя часть песчаников более высокоомная (до 1500 Ом*м), в сравнении с неизменными песчаниками (10-400 Ом*м), и характеризуется повышенными значениями поляризуемости (более 3%).

Аллювиальные отложения представлены кварцевым песком, супесью, галечниками, редко суглинками и глиной. Сопротивления данных отложений изменяются от 300 до 1000 Ом*м, заряжаемость не превышает 2 %. Скорости распространения р-волн не превышает 300-700 м/с.

Делювиальные отложения являются разрушенными латеритными корами выветривания песчаников и конгломератов формации Карно-Берберати. Данный тип отложений характеризуется экстремально высокими значениями сопротивлений (до 15000 Ом*м), что не свойственно отложениям такого типа и вероятно связано с высоким коэффициентом разрыхления, низким коэффициентом влажности и большим содержанием кварца. Значения заряжаемости и скоростные характеристики сходны с аллювиальными отложениями.

Алмазоносной толщей является нижняя часть гравелитов, в подошве которой расположен хорошо окатанный гравийный грунт (см. рис. 11).

Возраст	Мощность	Характеристика пород	Петрофизические характеристики пород
К	1-14	Песок.	<p>УЭС: >1500 Ом*м</p> <p>Заряжаемость: 1,5-2 %</p> <p>Скорость продольных волн: 0,3-0,7 км/с</p>
	0-2,5	Гравелиты оже-лезнённые буро-коричневого цвета, сцементированные. В подошве хорошо окатанный гравийный грунт.	<p>УЭС: 1000-2000 Ом*м</p> <p>Заряжаемость: 2,2-2,6 %</p> <p>Скорость продольных волн: 0,7-0,9 км/с</p>
	Более 2	Песчаник (плотик) серого цвета. Мелко-среднезернистый, массивный, средней прочности.	<p>УЭС: 100-1500 Ом*м</p> <p>Заряжаемость: >2.5 %</p> <p>Скорость продольных волн: >1,2 км/с</p>

Рисунок 11 Упрощенная стратиграфическая колонка верхней части разреза, выполненная по результатам работ

3 МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

3.1 Основы метода преломленных волн

Метод преломленных волн – один из основных методов сейсморазведки, основанный на определении вдоль прямолинейных профилей времени распространения упругих волн, преломившихся в пласте, в котором скорость сейсмических волн больше, чем в вышележащих слоях. При падении упругих колебаний на такой пласт под критическим углом образуется скользкая волна, движение которой вызывает вторичную преломленную (головную) волну, регистрируемую на профиле наблюдения.

Скользкая волна формируется при падении сейсмической волны на преломляющую границу под критическим углом (углом полного внутреннего отражения). Значение критического угла вычисляется на основании закона Снеллиуса:

$$\sin i = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1)$$

Где: i – критический угол;

v_1 – скорость сейсмической волны над границей;

v_2 – скорость сейсмической волны под границей.

В случае слоисто однородной среды с горизонтальными границами раздела годограф головной волны имеет начальную точку с координатами (Боганик, Гурвич, 2006):

$$x = 2 \sum_{l=0}^{n-1} h_l \tan(\alpha_{l,n}), \quad (2)$$

$$t = 2 \sum_{l=0}^{n-1} \frac{h_l}{v_l \cos(\alpha_{l,n})} \quad (3)$$

Где: $\alpha_{l,n}$ – угол с вертикалью в l -м слое луча, который падает на границу слоёв под критическим углом;

h_l – мощность слоя l ;

v_l – скорость распространения волн в слое l ;

n – количество слоёв.

Уравнение продольного годографа головной волны определяется по формуле (Боганик, Гурвич, 2006):

$$t(x) = 2 \sum_{l=0}^{n-1} \frac{h_l \cos(\alpha_{l,n})}{v_l} + \frac{x}{v_n} \quad (4)$$

Определив время пробега головных волн до нескольких точек наблюдения и построив прямой и встречный годографы, можно вычислить глубину до поверхности

пласта, а по величине скорости судить о физических свойствах и геологической природе преломляющего пласта.

В градиентных средах, когда скорость упругих колебаний растет с глубиной, при работах МПВ регистрируются рефрагированные волны, которые с удалением от источника все глубже проникают в исследуемую среду. При этом скорость распространения рефрагированных волн возрастает. По наблюдаемым на поверхности годографам рефрагированных волн можно получить скоростную модель среды.

Пути распространения волн при работах методом преломленных волн преимущественно горизонтальны, а в методе отраженных волн они преимущественно вертикальны. Головные волны подходят к высокоскоростному пласту и выходят из него под критическим углом, и с их помощью можно обнаружить только такой пласт, в котором скорость распространения волн значительно больше, чем в вышележащих породах. Этот фактор накладывает ограничение на применение метода преломленных волн по сравнению с методом отраженных волн.

3.2 Полевые работы

Выполнение полевых работ происходило в 4 этапа.

На первом этапе происходило дешифрирование космических снимков с целью выделения пойм, долин, террас рек и закладки профилей.

На втором этапе выполнялись электроразведочные работы методом ТЭЗ ВП для выделения наиболее перспективных участков. Электроразведка выполнялась до сейсморазведки в связи с тем, что с помощью неё можно выполнить большой объём работ за достаточно короткий промежуток времени.

На третьем этапе выполнялись сейсморазведочные работы МПВ с целью детализации палеорельефа на выделенных по электроразведке перспективных участках.

Заключительный – геологический этап был связан с закладкой шурфов и заверкой данных, полученных по геофизике.

Профили для выполнения сейсморазведочных работ задавались на основании данных, полученных в ходе электроразведочных работ, так как электроразведка позволяла получить первичные данные о геологии в довольно короткий промежуток времени.

Объёмы работ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Объёмы выполненных работ

Общее количество расстановок (шт.)	23
Количество расстановок для регистрации Р-волн (шт.)	20
Количество расстановок для регистрации S-волн (шт.)	3
Количество погонных метров по Р-волнам (м)	1736
Количество погонных метров по S-волнам (м)	282

3.2.1 Сейсмическое моделирование

Перед началом проведения сейсмических работ было выполнено математическое моделирование для расчета годографов преломленных волн с целью предварительной оценки системы наблюдения для проведения работ.

Исходя из априорно имеющихся сведений о геологии региона, перед началом работ была создана модель геологического разреза в программе XТomo-LM, представленная на рисунке 12. Модель состояла из 4 слоев. Первый слой представлял собой песок со скоростью распространения волн в нём 1600 м/с и мощностью 7 м, второй – гравелит со скоростью 1800 м/с и мощностью от 7 до 12,7 м., третий – гравий со скоростью 1400 м/с и мощностью от 6 до 0,3 м., четвертый – песчаник со скоростью 2500 м/с.

На основании результатов моделирования были выбраны следующие оптимальные параметры системы наблюдений: шаг для приемных датчиков составил 2 метра, для источника колебаний – 4 метра. При использовании нескольких приемных расстановок подряд на профиле они должны перекрываться, как минимум, по трём каналам. Выносные пункты взрыва (т.е. за пределами приёмной косы) предполагалось делать по 8 штук с каждого конца сейсмокосы с шагом 4 м для первых 4 выносов и 6 м для последующих 4 выносов. Данные выводы являлись предварительными, так как в ходе работ установку предполагалось скорректировать согласно результатам опытно-методических работ (ОМР) на конкретном геологическом объекте с заранее известной геологией.

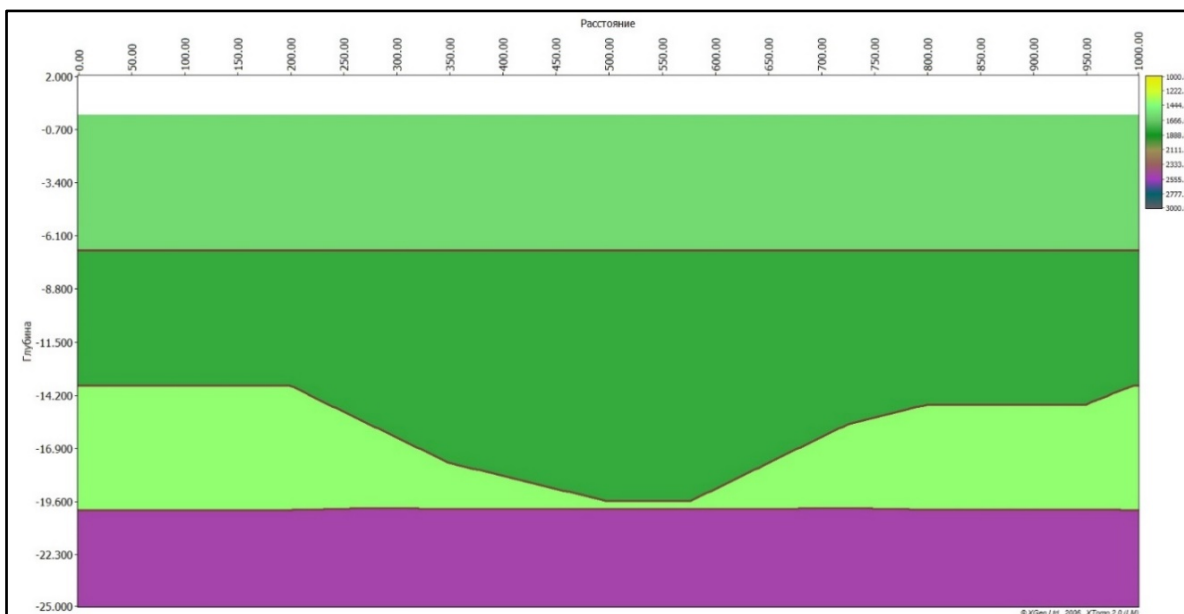


Рисунок 12 Модель геологического разреза, используемая в программе XТomo-LM

3.2.2 Техническое обеспечение

Регистрация сейсмических данных осуществлялась с помощью 48-ми канальной сейсмостанции «Лакколит X-M2» (рис. 13) производства ООО «ЛогиС». Станция предназначена для проведения сейморазведочных работ методами преломленных и отраженных волн при инженерно-геофизических исследованиях. Станция состоит из 24-х канального блока регистрации, коммутатора каналов и портативного персонального компьютера. Блок обеспечивает получение данных с 24-х сейсмических каналов и их предварительную обработку, коммутатор обеспечивает считывание с заданного оператором интервала каналов. Основные технические характеристики сейморазведочной станции «Лакколит X-M2» приведены в таблице 2.

Приём сигнала осуществлялся с помощью вертикальных (для регистрации Р-волн) и горизонтальных (для регистрации S-волн) электродинамических сейсмоприемников ОУО-Geoimpulse (рис. 14), соединенных с сейсмостанцией сейсмической косой.

Источником сейсмического сигнала являлись колебания, вызванные ударом 10-кг кувалды по деревянной подложке (рис. 15). Поступивший в сейсмостанцию сигнал с приемников подвергается аналогово-цифровому преобразованию и записывается в память компьютера, в соответствующий файл. В качестве источника питания использовались два аккумулятора, имеющие характеристики 12В 7Ач.

Синхронизация записи может производиться различными способами (см. 3.2.3).

В комплект сейсмостанции входит программное обеспечение сбора и хранения сейсмической информации. Данное программное обеспечение позволяет:

1. выбрать частоту дискретизации; в полуавтоматическом режиме подобрать коэффициенты усиления;
2. производить запуск станции от внешнего источника – сейсмоприёмника, пьезоэлемента или замыкания контактов;
3. просматривать единичные и накопленные трассы на экране компьютера; менять поканально усиление трасс на сейсмограмме;
4. управлять процессом накопления, то есть складывать единичные трассы или отбрасывать их по решению оператора;
5. записывать единичные и (или) накопленные сейсмограммы в заданные оператором трассы.

Таблица 2

Технические характеристики сейсмостанции «Лакколит X-M2»

Наименование параметров	Значение параметров
Число регистрируемых каналов	24
Напряжение питания, В	12±30%
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	0.01
Фазовая неидентичность каналов, в % от периода сигнала, не более	2
Динамический диапазон, дБ, не менее	103
Коэффициент взаимного влияния между сейсмическими каналами, дБ, не менее	103
Время регистрации, мс	16..10240
Диапазон рабочих температур	-30 ÷ +50°С

При выполнении полевых сейсморазведочных работ велся полевой журнал, как в бумажном, так и в электронном виде в формате программы Microsoft Office Excel.

Привязки сейсмических наблюдений осуществлялись с помощью GPS-приемников Garmin 64. Полученные координаты вносились в журнал полевых работ. Топообеспечение сейсмических работ (съёмку превышения высот местности по приемникам сейсмокосы) выполнялось с помощью теодолита.



Рисунок 13 Сейсмическая станция «Лакколит X-M2»



Рисунок 14 Вертикальный (слева) и горизонтальный (справа) электродинамические сейсмоприемники OYO-Geotimpulse



Рисунок 15 Кувалда и провод синхронизации, подведенный к ней

3.2.3 Опытные-методические работы

В начале полевых работ были проведены опытно-методические работы (ОМР) с целью:

1. уточнения параметров системы наблюдений, полученных на этапе математического моделирования;
2. выбора метода синхронизации источника и приемников.

Работы были выполнены на участке с заранее известной геологией. Протяженность работ при ОМР составила 234 м.

Для каждой расстановки наблюдения выполнялись по два раза на каждом источнике сигнала: при подключенных Р-приемниках и при подключенных S-приемниках. Для получения продольных волн использовались вертикальные удары, для поперечных – вертикальные или разнонаправленные горизонтальные в зависимости от получаемого сигнала. Число накоплений составляло 5-16 раз в зависимости от базы наблюдений и погодных условий.

Параметры регистрации выбирались опытным путём:

- Число регистрируемых каналов – 24, 48;
- Длина записи – 2048 мс;
- Шаг дискретизации – 2 мс (частота дискретизации 500 Гц);
- Верхняя граница фильтра – 120 Гц.

По результатам выполненных ОМР были скорректированы количество выносных пунктов взрыва (вместо 8 ПВ стало 4 ПВ) и шаг между ними (4 м). Используемая в дальнейшем в ходе выполнения полевых работ система наблюдений приведена на рис. 16 и в таблице 3.

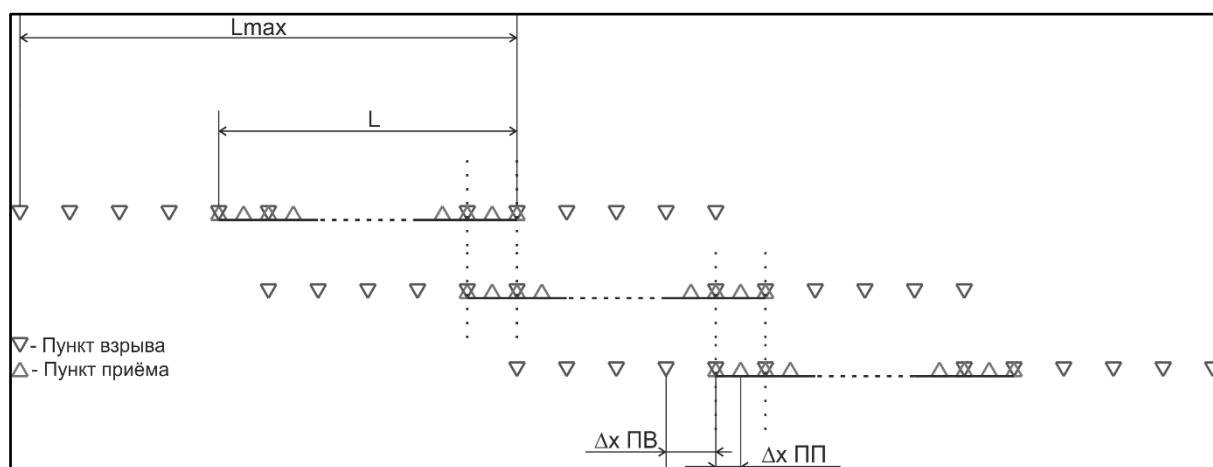


Рисунок 16 Схема используемой расстановки с перекрытием

Таблица 3

Параметры системы наблюдений

L	46/94 м
Lmin	0 м
Lmax	78/126 м
Δx ПП	2 м
Δx ПВ	4 м
n	24/48

Для выбора метода синхронизации было протестировано все 3 возможных варианта:

1. замыкание контактов между кувалдой и металлическим листом, расположенным на деревянной подложке;
2. деформация пьезоэлемента, расположенного на кувалде, при ударе о деревянную подложку;
3. возбуждение сейсмоприемника при ударе кувалдой о деревянную подложку рядом с ним.

Наиболее точным способом синхронизации (с наименьшим временем задержки при начале записи) являлся первый способ. Остальные способы показывали большую задержку, обусловленную природными условиями (высокие температуры, высокая влажность, ландшафт местности). Выбранный способ синхронизации обеспечивает идентичную для всех пунктов взрыва задержку записи, что значительно упрощает обработку данных и позволяет минимизировать ошибку определения отметки момента запуска источника колебаний.

4 ОБРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Обработку сейсмических данных проводилась в два этапа:

1. Полевой этап. Обработка материалов выполнялась непосредственно во время проведения работ.
2. Камеральный этап. Обработка материалов выполнялась после проведения работ, в ходе ВКР.

На первом этапе использовался следующий комплект программ: RadExPro_2012.2 (далее RadExPro), XТomo-LM 2.1.1 (далее XТomo-LM).

RadExPro – программный пакет для комплексной обработки и контроля качества сейсмических данных под ОС Windows, созданный ООО «ДЕКО-Геофизика». В пакете можно выполнять следующие операции: обработка данных наземной и морской высокоразрешающей сейсморазведки МОВ ОГТ, контроль качества (QC) полевых данных и предварительная обработка данных сейсморазведки 2D/3D даже в полевых условиях, обработка и интерпретация данных ВСП, анализ поверхностных волн (MASW), быстрая обработка данных МПВ, эффективное подавление кратных волн и волн спутников на морских одноканальных данных, анализ данных при помощи связанных кроссплотов, печать результатов с предварительным просмотром (RadExPro).

XТomo-LM – система сейсмической томографии, дополненная средствами интерпретации слоистой модели, разрабатываемая ООО "Икс-Гео". Программа служит мощным 2D-инструментом интерпретации времен прихода сейсмических волн и кинематической интерпретации сейсмических данных. Основными типами задач, решаемых с помощью пакета сейсмической томографии XТomo-LM являются: изучение геологического строения по данным сейсмического зондирования МПВ-ГСЗ, коррекция статики при работах МОВ-ОГТ, межскважинное просвечивание и мульти-офсетное ВСП для выполнения различных задач, сейсмомониторинг народнохозяйственных объектов (XGeo).

При обработке материалов в RadExPro использовался следующий граф:

1. Предварительная обработка, в которую входило преобразование формата полевых записей в формат обрабатывающей системы, расчет геометрии системы наблюдений, занесение геометрии системы наблюдений в заголовки трасс.
2. Пикировка первых вступлений прихода волн.

В результате пикировки в RadExPro были получены годографы первых вступлений в табличной форме в виде файла формата *.st. Файл представляет собой

массив данных, включающий информацию о координатах питающих и приемных источников/приемников, отметки относительных превышений рельефа и собственно значения времен первых вступлений. Однако этот файл не является читаемым для XТomo-LM. Необходимо преобразовать файл из формата *.st в формат *.srt. Данное расширение является аналогией расширения *.st. Все преобразования происходили с помощью Microsoft Office Excel и стандартного редактора текстовых файлов «Блокнот». Полученный файл в качестве исходных данных вносился в систему XТomo-LM, в которой происходила обработка материалов методом сейсмотомографии.

После получения скоростных разрезов и увязки их с результатами по электроразведке были выявлены значительные невязки в полученных материалах. После анализа полученных результатов и проверки пикировки первых вступлений исходных материалов в другой программе (ZondST2d 3.0, далее ZondST2D) был обнаружен источник проблем. Используемый пакет программ не позволял наиболее точно произвести пикировку материалов, что привело в последствии к неверным построениям скоростных моделей.

Следующий (камеральный) этап был посвящен уточнению пикировки и выполнению обработки исправленных материалов методом сейсмической томографии в программе ZondST2D. Так как в ходе выполнения ВКР основная практическая деятельность была посвящена этому этапу, то основной акцент в данном разделе сделан именно на него.

Программное обеспечение ZondST2D предназначено для двумерной обработки и интерпретации данных сейсмической томографии на преломленных волнах и КМПВ в наземном, скважинном, межскважинном и акваторном вариантах. ПО представляет готовое решение для сейсмической томографии и решает широкий спектр задач от математического моделирования, до обработки и интерпретации сейсмических данных (Zond Software).

Прежде всего в программу вносятся исходные материалы в формате *.sgy, присваивается геометрия системы наблюдений. В окне «режима пикировки» производится усиление сигнала на сейсмограммах, после чего волны становятся более динамически выраженными (рис. 17). Далее происходит пикировка сейсмограмм по первым вступлениям (рис. 18). Прежде чем придти к заключительной части обработки – построению скоростных моделей – производится увязка времен первых вступлений по всем годографам на профиле по взаимным временам (рис. 19).

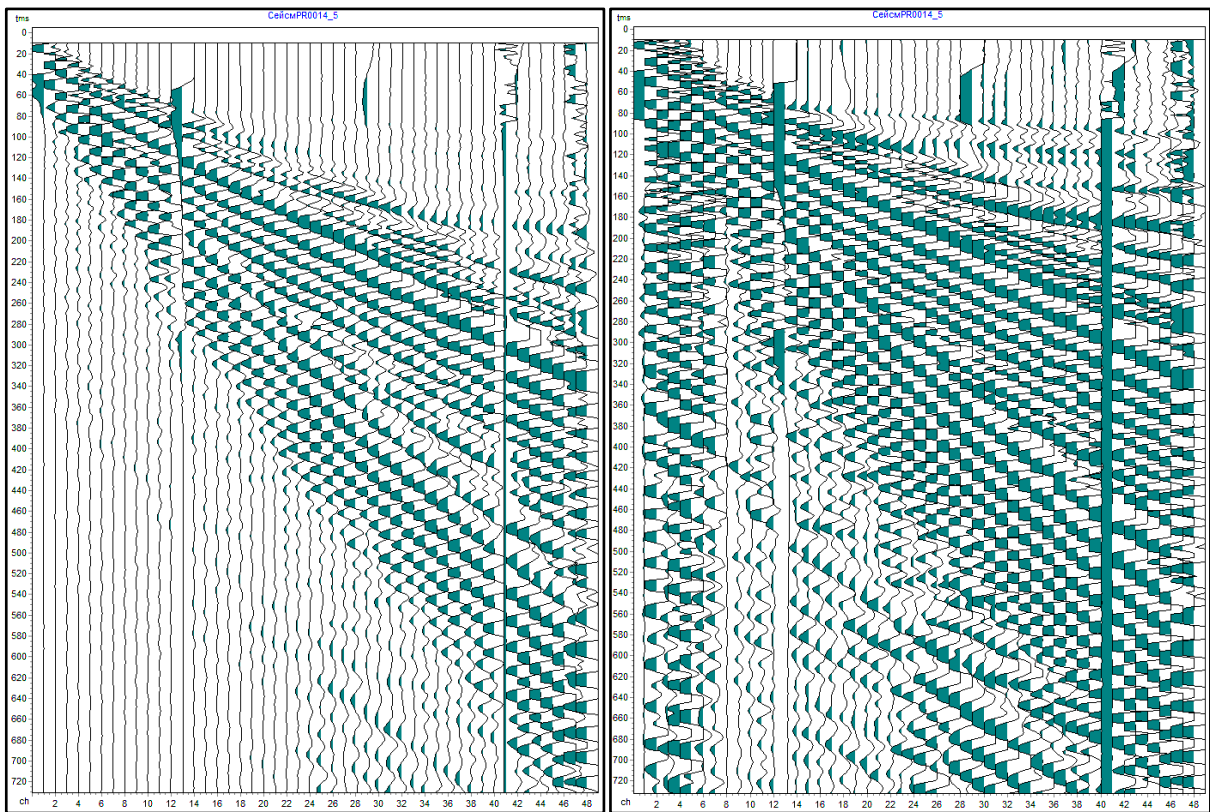


Рисунок 17 Пример изображения в программе ZondST2D сейсмограмм в исходном виде (слева) и после усиления сигнала (справа)

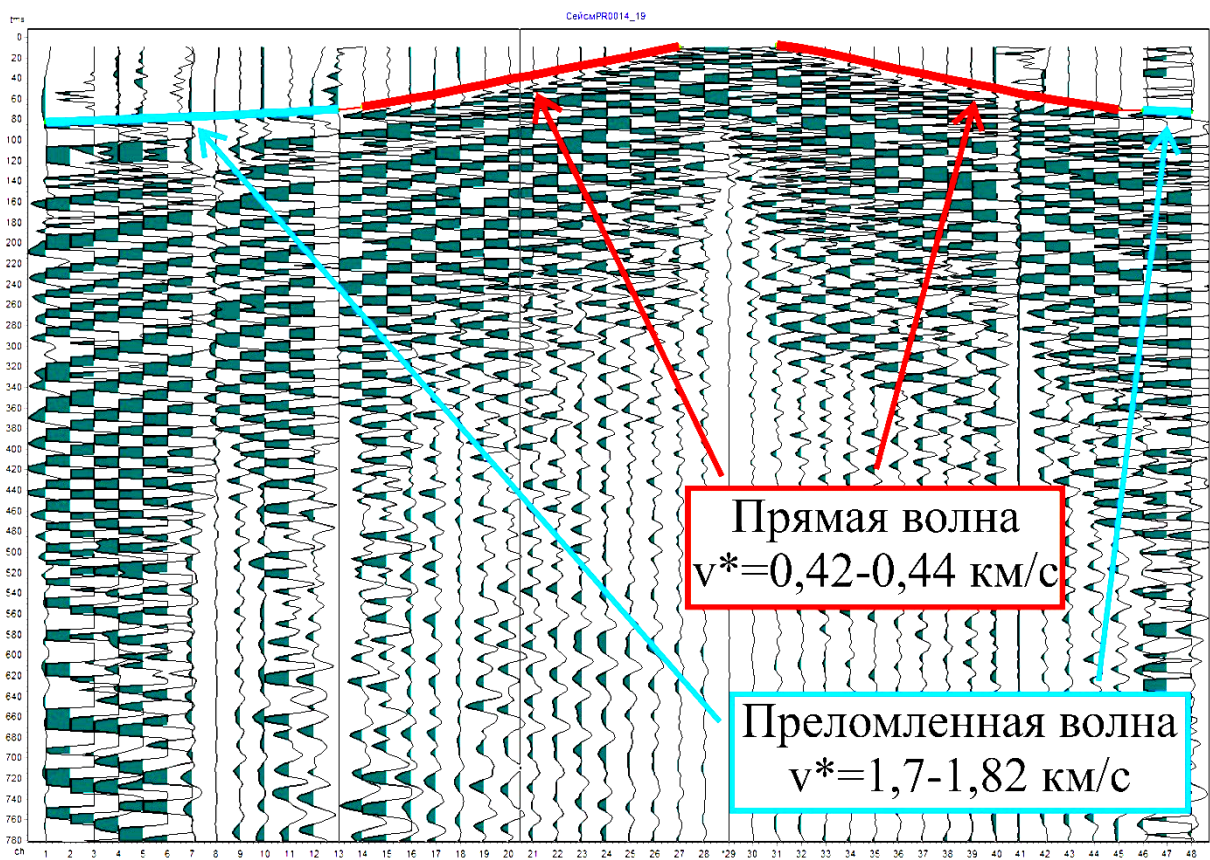


Рисунок 18 Пример сейсмограммы с пикировкой по первым вступлениям

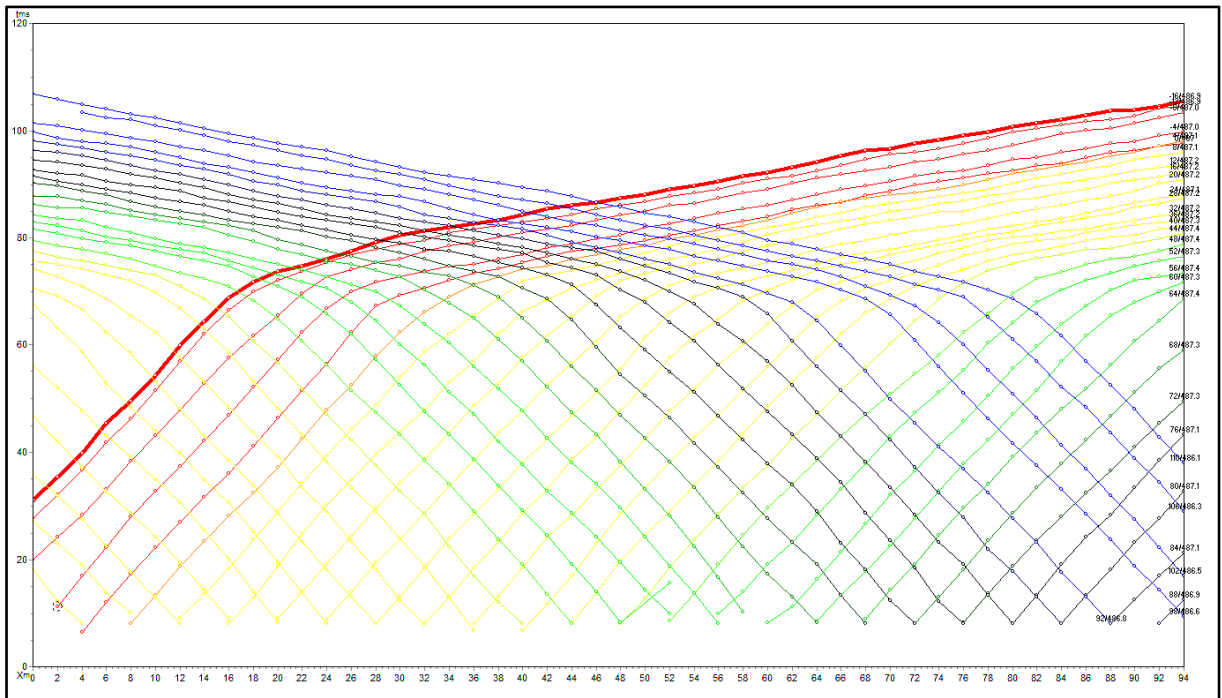


Рисунок 19 Система годографов первых вступлений, увязанных по взаимным временам

Полученные годографы поступают в блок инверсии программы ZondST2D для решения обратной задачи, то есть для получения скоростного разреза методом сейсмической томографии. Изначально задается начальная градиентная модель среды (рис. 20), с указанием её минимальной и максимальной скоростей, размеров ячейки модели. Для заданной скоростной модели считается прямая задача для определения времен прихода первых вступлений. Далее рассчитывается невязка ΔT между наблюдаемыми и рассчитанными годографами, которая раскидывается на приращение скоростей по модели (рис. 21). После выполненной итерации полученная модель становится исходной для следующей итерации. Критерием завершения инверсии является уменьшение невязки до значений меньше 2 единиц.

Окончательная модель выводилась из программы в файле формата *.dat, который использовался для дальнейшей визуализации скоростного разреза в программе Golden Software Surfer 13.

Полученные скоростные разрезy интерпретировались вместе с данными по электроразведке.

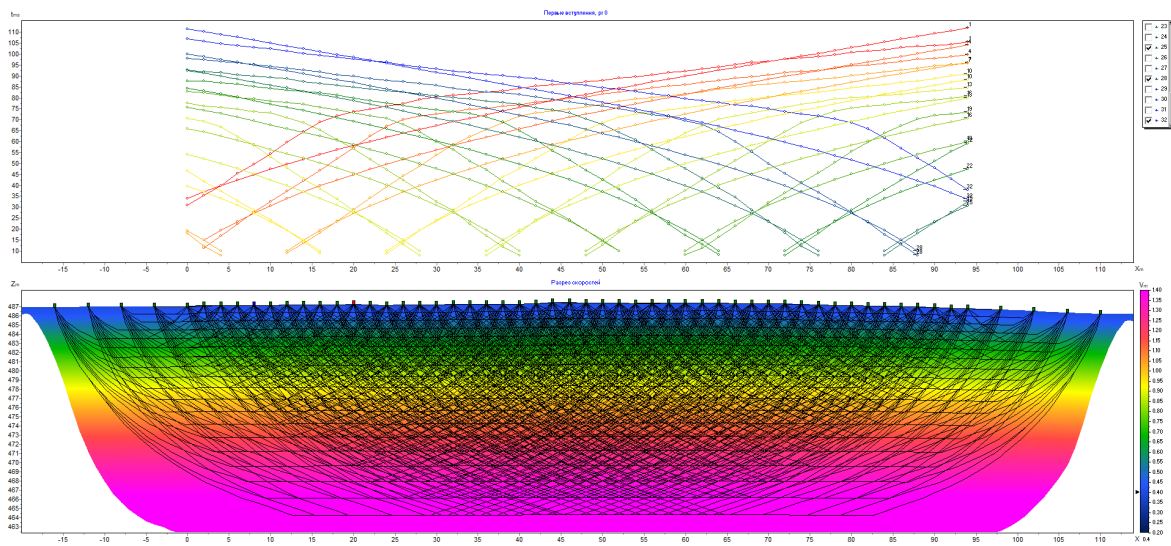


Рисунок 20 Начальная модель с лучевыми схемами. Количество годографов на изображении уменьшено в три раза

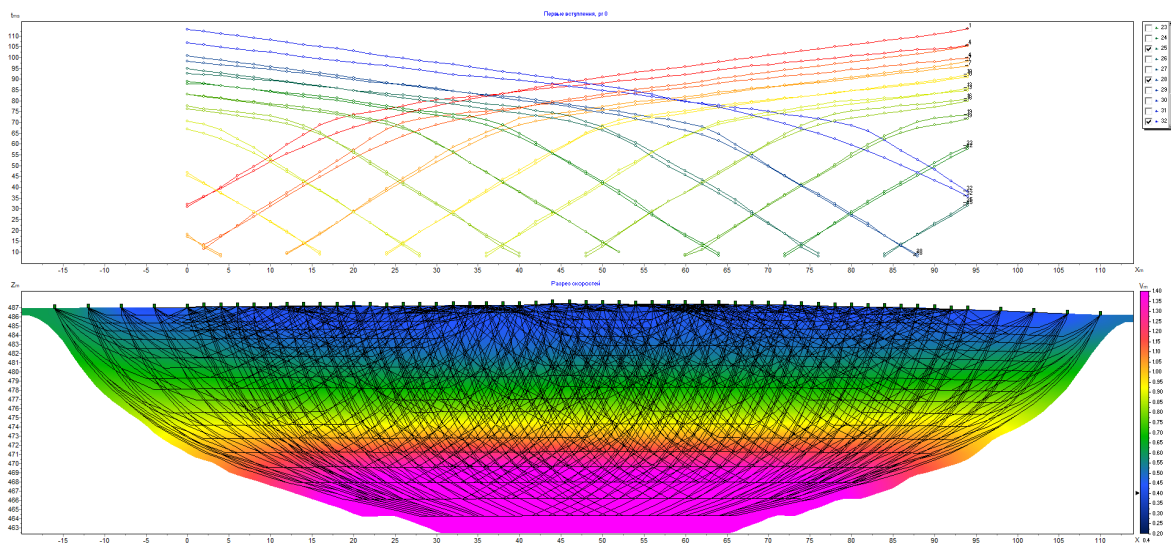


Рисунок 21 Модель с лучевыми схемами после второй итерации. Количество годографов на изображении уменьшено в три раза

5 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Интерпретация результатов геофизических данных происходила при комплексном анализе материалов, полученных в результате обработки сейсморазведочных и электроразведочных работ. Обработанные материалы по электроразведке были предоставлены компанией ООО «СЗГГК «Геокомплекс». При интерпретации использовались данные скоростных и электрических полей среды, а именно информация по распределению скорости распространения продольных волн, параметра заряжаемости и удельного электрического сопротивления (УЭС). В настоящей работе представлены результаты для двух участков по четырём наиболее наглядным геофизическим профилям (рис. 22).

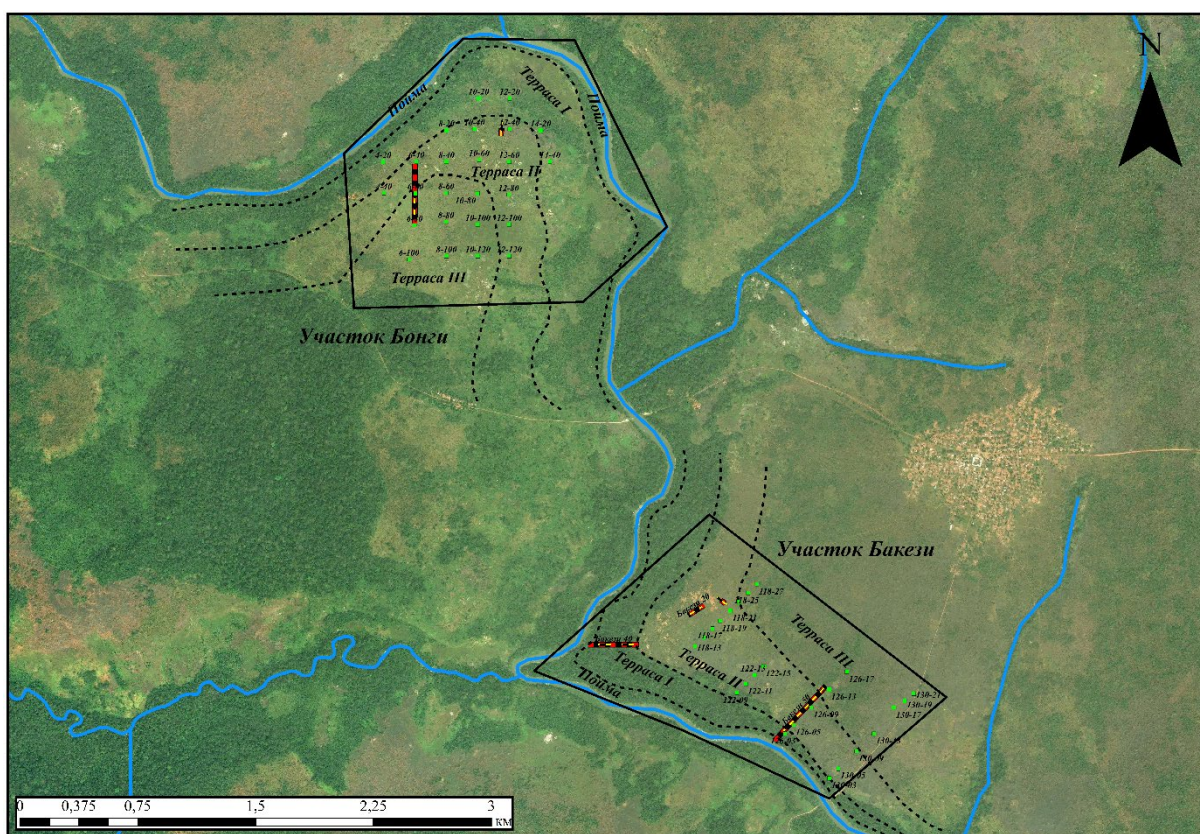


Рисунок 22 Карта фактических материалов по участкам Бонги и Бакези.

Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Участок Бонги (рис. 23). Расположен на правом берегу одной из основных рек, протекающих по участку работ, на ее террасе. Участок являлся первым при проведении полевых геофизических работ, так как на его территории заранее была проложена сеть шурфов по сетке 200 на 200 м. Шурфы позволяют получить наиболее точное

представление о распространении продуктивного алмазоносного слоя по всей области работ. Согласно полученным геологическим описаниям, шурфы вскрывали слой гравия мощностью около метра, на глубине 3-4 метра. Таким образом, целью проводимых работ в этом районе являлось создание эталонных профилей, которые в дальнейшем использовались бы при интерпретации результатов по рядовым профилям.

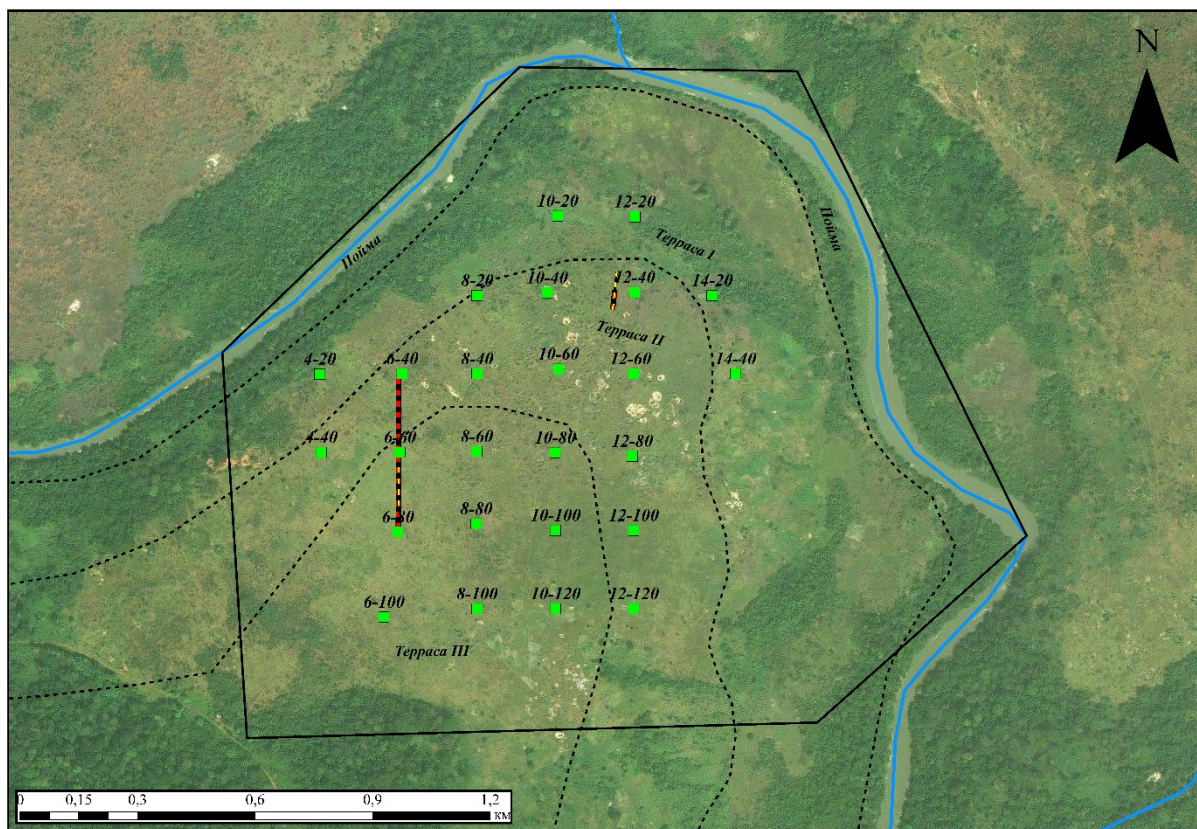


Рисунок 23 Участок Бонги.

Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Эталонным профилем является **профиль Бонги 8** (рис. 24, 28). Профиль заложен вдоль линии шурфов, на которой был вскрыт литологически ярко выраженный слой гравия мощностью более метра. Анализ полученных данных электроразведки и сейсморазведки позволил уверенно выделить в разрезе три слоя – коренные породы (песчаник), слой гравелитов, рыхлые отложения (песок). Следует отметить высокую корреляцию между собой результатов двух независимых методов. Заложенный контрольный шурф позволил непосредственно заверить предполагаемые границы. Предполагаемая граница песков и гравелитов располагалась на глубине 2,7 м, граница между гравелитами и песчаниками – на глубине 3,7 м. Фактический материал показал, что верхняя граница определена достаточно точно (невязка составила около 20 см), а нижняя граница выделена грубее (невязка около 70 см). Это обусловлено нечёткими

контактом между слоем гравелитов и коренных песчаников. Как таковой границы нет, в шурфах наблюдается плавная зона перехода с уменьшением гравия и увеличением песчанистой составляющей с окончательным переходом в песчаник. Зона перехода варьируется мощностью от полуметра до метра. Полученные результаты позволили разделить геологический разрез по электрическим и скоростным свойствам, основные характеристики представлены в таблице 4. Также в заверочном шурфе был найден обломок алмаза весом 0,02 карата.

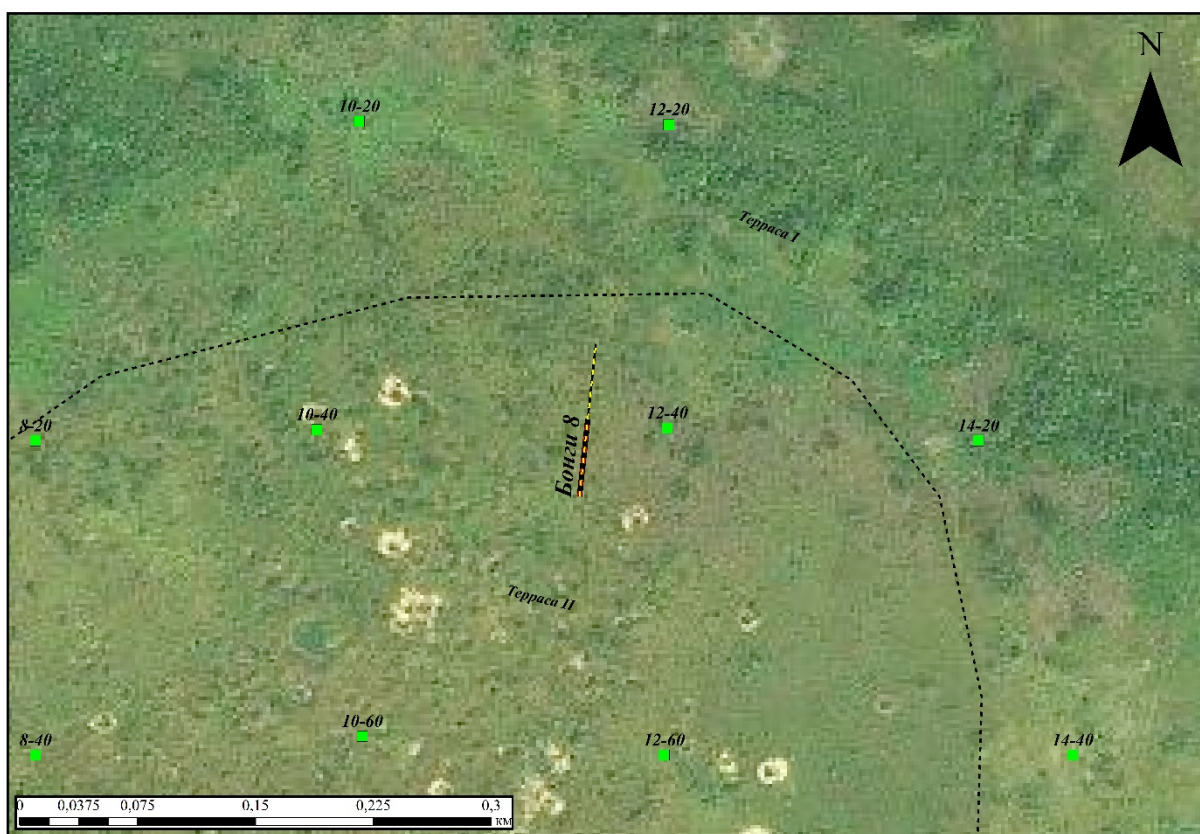


Рисунок 24 Профиль Бонги 8.

Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Таблица 4

Физические параметры горных пород

	УЭС, *10 ³ Ом*м	Заряжаемость, %	Скорость продольных волн, км/с
Пески	>1500	1,5-2	0,3-0,7
Гравелиты	1000-2000	2,2-2,6	0,7-0,9
Песчаники	100-1500	>2,6	>1,2

Кроме профиля Бонги 8 был выполнен профиль Бонги 6. Однако материалы по электроразведки не позволили использовать его как эталонный. На разрезах распределения УЭС и параметра заряжаемости на юге профиля присутствуют аномальные повышения этих значений, что предположительно связано с нахождением профиля на самой высокой террасе долины реки, где наблюдается отсутствие грунтовых вод.

Участок Бакези (рис. 25). Расположен в двух км от участка Банги ниже по течению на левом берегу реки. Часть участка покрыта сетью шурфовочных профилей. Вскрыты верхние террасы. В одном из редких шурфов, расположенных в пойменной части долины реки, был обнаружен алмаз, что послужило предпосылкой к детальному изучению строения долины. Целью данного участка являлось изучение строения всей долины и нахождение перспективных понижений, которые прослеживались бы на протяжении всей долины.

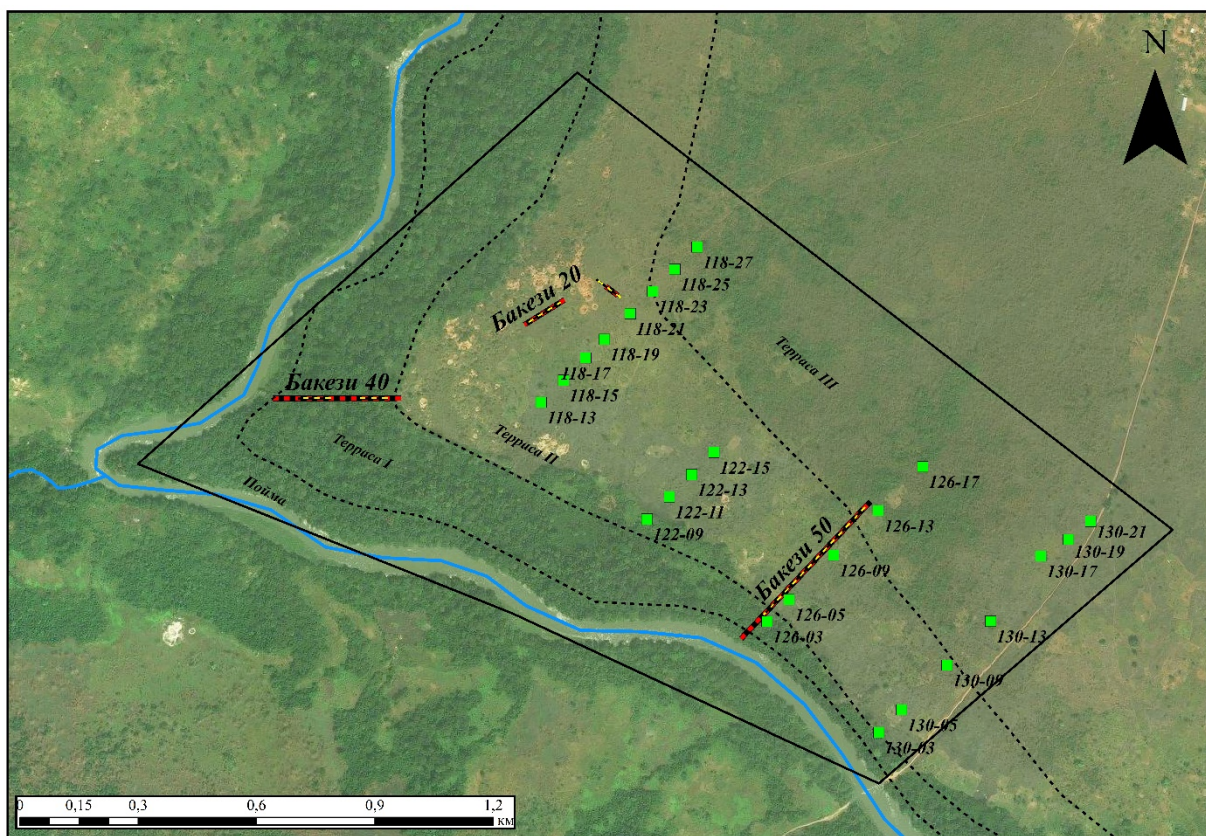


Рисунок 25 Участок Бакези.

Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Профиль Бакези 40 (рис. 26, 29) пересекает вкрест первую террасу и пойму реки и расположен в месте изгиба реки, где могли накапливаться аллювиальные отложения,

содержащие алмазы. Результаты геофизических работ позволили сделать вывод о спокойном субгоризонтальном рельефе коренных пород без перспективных углублений. Однако по данным электроразведки (в частности, на разрезе распределения УЭС) наблюдаются два участка (пикеты 90-160 и 240-320) с локальными чашеобразными понижениями. На выделенных областях были проведены сейсморазведочные работы. По итогу геофизических работ был заложен шурф на пикете 120. Предполагаемые границы располагались на глубинах 3,4 м и 5 м. Невязка с фактическим материалом составила 1,2 и 0,2 м соответственно с верхней и нижней границами, что связывается с обводненностью грунтов.

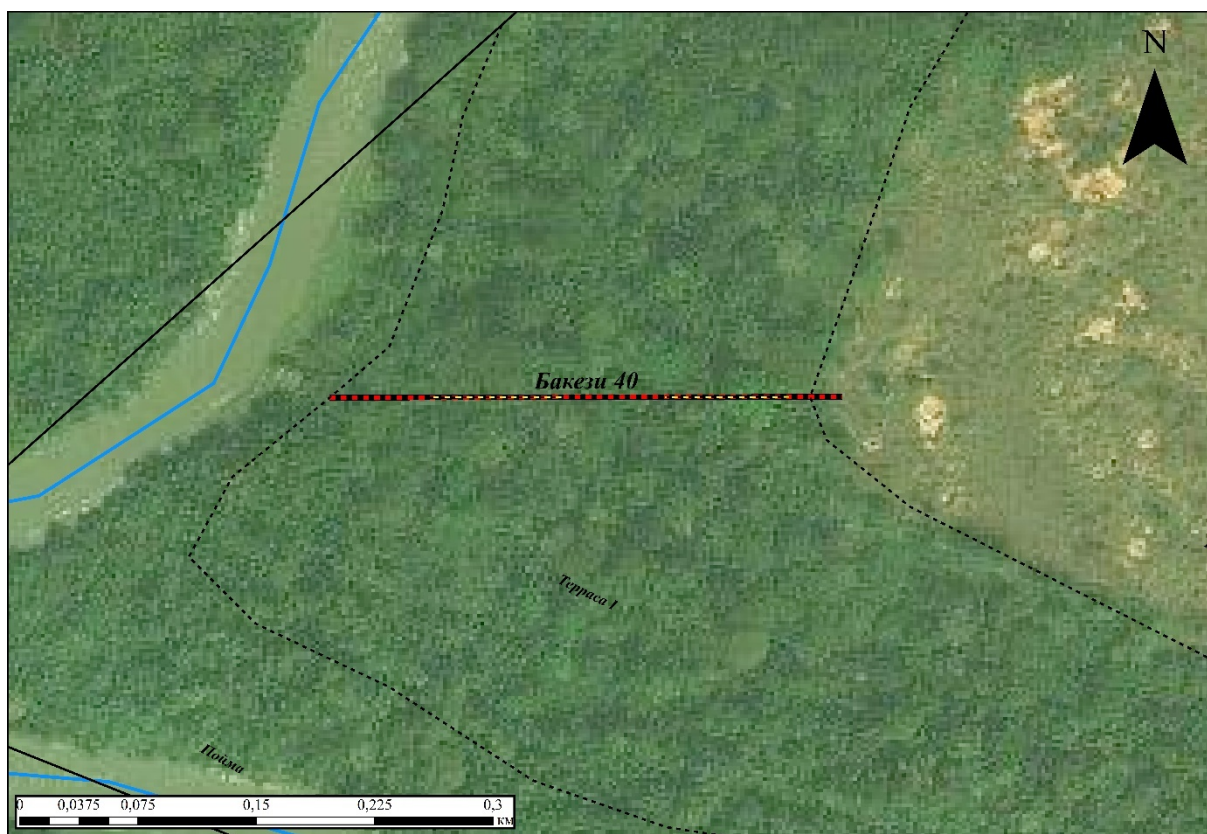


Рисунок 26 Профиль Бакези 40.

Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Профиль Бакези 50 (рис. 27, 30) заложен вдоль шурфовочной линии и позволяет проследить строение всей долины от верхних террас до поймы реки. На основании данных по геологическому описанию шурфов был построен геологический разрез, показывающий уменьшение мощности рыхлых отложений к пойме. На протяжении большей части шурфовочной линии были произведены геофизические работы. Выделенные границы по скоростному разрезу позволили проследить границы между шурфами с достаточной низкой невязкой. Наибольшая невязка присутствует на

шурфе 126-09 и составляет около 0,6 м. В остальных случаях она не превышает 30 см. Материалы электроразведки подтверждают полученные данные по распространению палеорельефа коренных пород. В свою очередь на протяжении всего склона наблюдается плавное понижение плотика, что не позволяет выделить перспективные участки по верхним террасам рек.

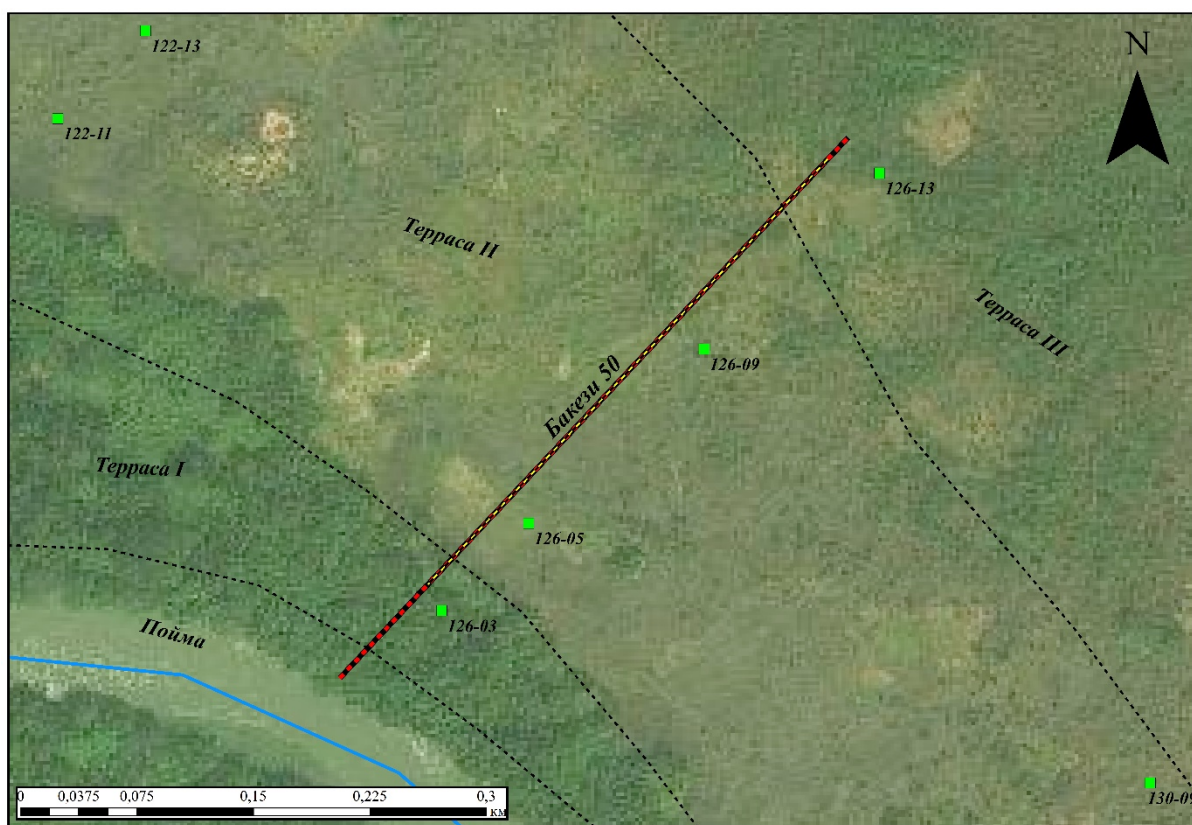
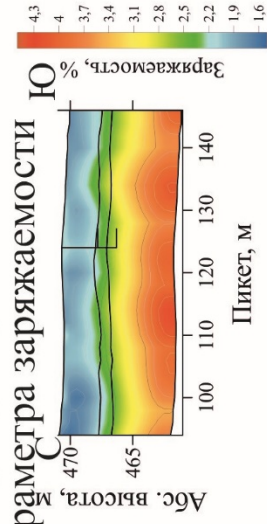


Рисунок 27 Профиль Бакези 50.

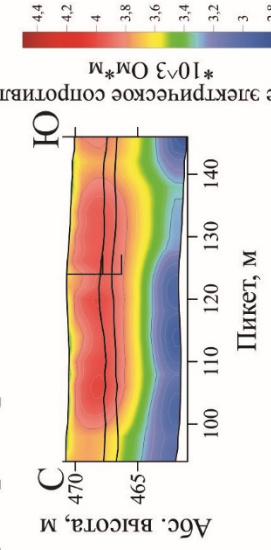
Примечание: Красными пунктирными линиями обозначены электроразведочные профили, жёлтыми – сейсморазведочные. Зелёными точками указаны местоположения шурфов

Профиль Бонги 8

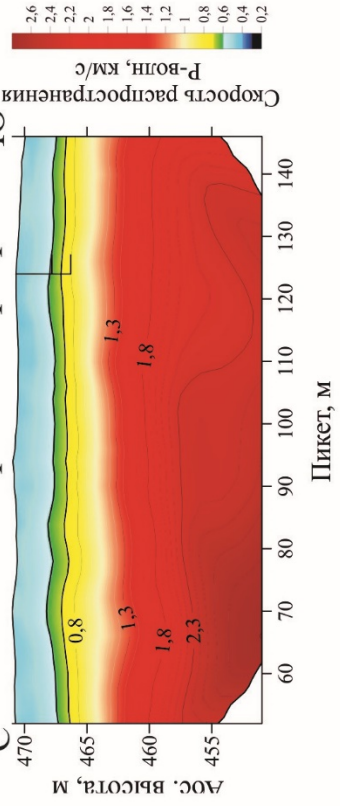
Разрез распределения параметра заряжаемости Ю



Разрез распределения УЭС



Скоростной разрез Ю

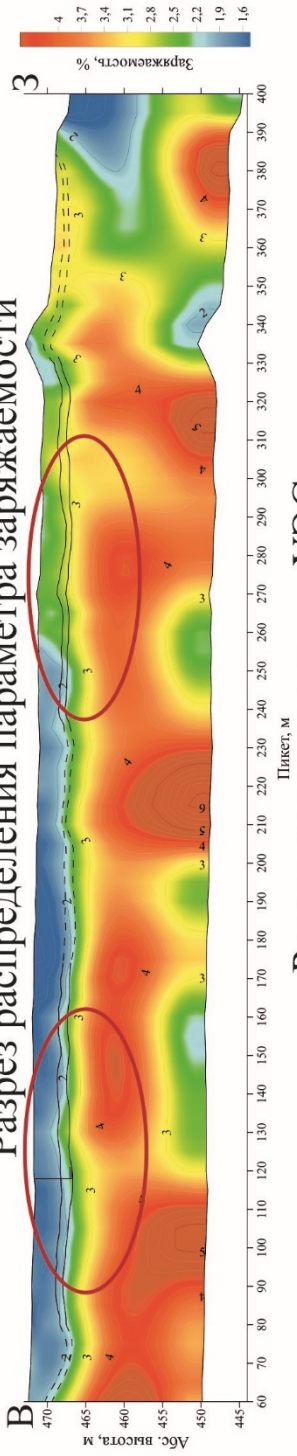


- ┌ Расположение шурфов и границ слоёв в нём
- Границы проведенные по данным электроразведки
- Границы проведенные по данным сейсморазведки
- ▬ Профиль по электроразведке
- ▬ Профиль по сейсморазведке

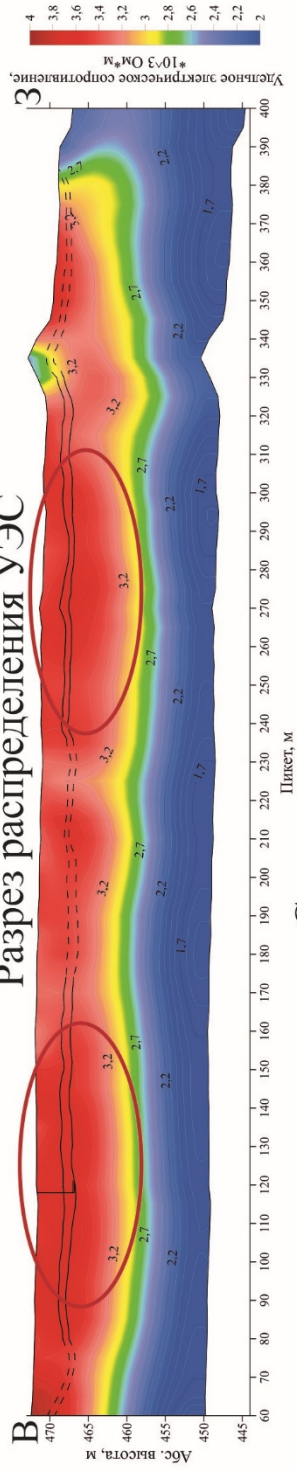
Рисунок 28 Результат интерпретации по профилю Бонги 8

Профиль Бакези 40

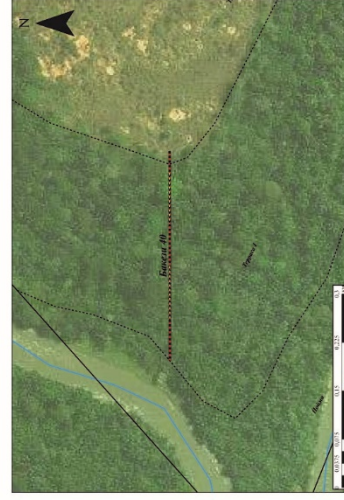
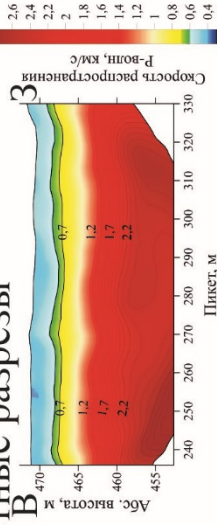
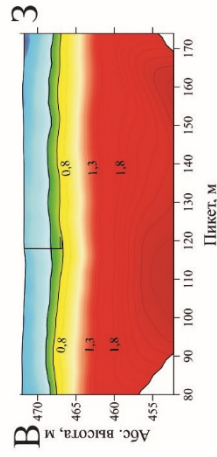
Разрез распределения параметра заряжаемости



Разрез распределения УЭС



Скоростные разрезы



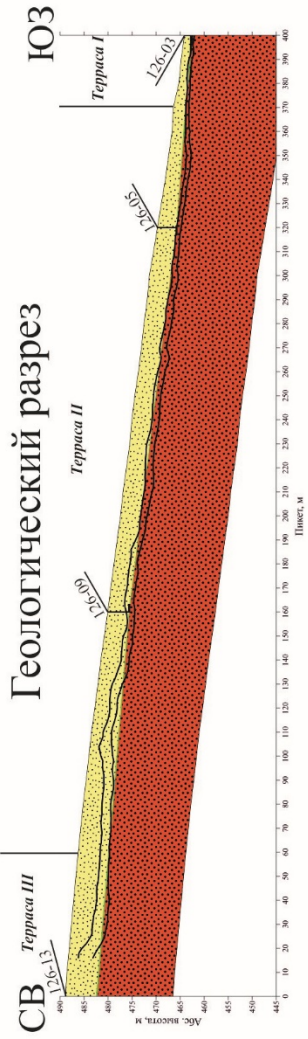
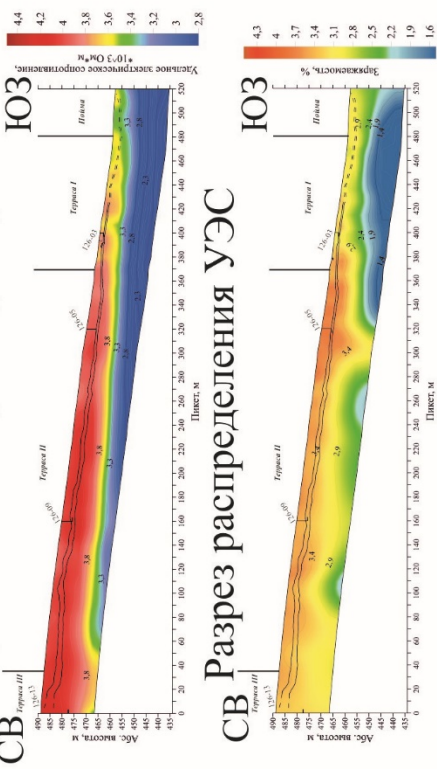
--- Границы проведенные по данным электроразведки
 — Границы проведенные по данным сейсморазведки

▬ Профиль по электроразведке
 ▬ Профиль по сейсморазведке
 — Расположение шурфов и границ слоёв в нём

Рисунок 29 Результаты интерпретации по профилю Бакези 40

Профиль Бакези 50

Разрез распределения параметра заряжаемости СВ



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные работы показали, что комплекс методов может быть применим для решения поставленных задач. Электроразведочные работы позволяют в короткий срок получить генеральное представление о строении долин рек и выделить перспективные участки, а сейсморазведка даёт возможность наиболее детально определить палеорельеф алмазоносного слоя гравелитов.

Граница между песком и гравелитами отбивается как по данным электроразведки, так и по данным сейсморазведки. Толщи характеризуются следующими параметрами:

1. Пески. Мощность от 1 до 14 м. Скорость продольных волн менее 0,7 км/с, УЭС более 1500 Ом*м, заряжаемость 1,5-2 %.
2. Гравелиты. Мощность до 2,5 м. Скорость продольных волн 0,7-0,9 км/с, УЭС 1000-2000 Ом*м, заряжаемость 2,2-2,6 %.
3. Песчаник. Мощность от 2 м. Скорость продольных волн более 1,2 км/с, УЭС 100-1500 Ом*м, заряжаемость более 2,5 %.

Полученные данные показали, что на участке работ отсутствуют существенные депрессии плотика, в которых могли бы находиться алмазы. Все выделенные понижения в алмазоносном слое гравелитов являются достаточно локальными, а обнаруженные алмазы не позволяют судить об участке как о перспективном на россыпи алмазов.

В заключении автор выражает благодарность А.Д. Кузовенкову за предоставленную возможность прохождения производственной практики в компании ООО «СЗГГК «Геокомплекс» на территории ЦАР, В.В. Половкову и А. Никитину за проведенное ими обучение по проведению полевых сейсморазведочных работ, В.И. Кашкевич, А.Л. Борисик, М. Борисик, Ю.В. Воробьёву и Т.С. Сакулиной за неоценимую помощь при выполнении практической части ВКР и предоставленные советы в ходе работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 2006. 744 с.
2. Борис Е.И. Определение масштабов коренной и россыпной алмазоносности в связи с прогнозированием месторождений алмазов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный: Мирнинская городская типография, 1998. С. 237–239.
3. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. Москва: ООО «Недра - Бизнесцентр», 2003. 603 с.
4. Кагарманов А.Х. Геология Африки и Аравии. Ленинград: Недра, 1987. 140 с.
5. Милашев В.А. Геология кимберлитов. Труды ВНИИОкеангеологии М-ва природн. ресурсов РФ. Санкт-Петербург: ВНИИОкеангеология, 2010. 334 с.
6. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. Москва: Наука, 1984. 264 с.
7. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 1995. 128 с.
8. Устинов В.Н. Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. Санкт-Петербург: Наука, 2015. 531 с.
9. Хаин В.Е. Геология и полезные ископаемые Африки. Москва: Недра, 1973. 544 с.
10. 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. V. 10. № 1–2. P. 385–398.
11. Censier C., Lang J. La Formation glaciaire de la Mambéré (République Centrafricaine): Reconstitution paléogéographique et implications à l'échelle du Paléozoïque africain // Geol. Rundschau. 1992. V. 81. № 3. P. 769–789.
12. Censier C., Tourenq J. Crystal forms and surface textures of alluvial diamonds from the Western Region of the Central African Republic // Miner. Depos. 1995. V. 30. № 3–4. P. 314–322.
13. Censier C., Lang J. Sedimentary processes in the Carnot Formation (Central African Republic) related to the palaeogeographic framework of Central Africa // Sediment. Geol. 1999. V. 127. № 1–2. P. 47–64.
14. Chirico P.G., Barthélémy F., Ngbokoto F.A. Alluvial Diamond Resource Potential

and Production Capacity Assessment of the Central African Republic: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5043. Reston, Virginia: USGS, 2010. 22 p.

15. Schlüter T. Geological Atlas of Africa. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

16. Sutherland D.G. The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine processes // *Econ. Geol.* 1982. V. 77. P. 1613–1620.

17. https://www.kdmid.ru/docs.aspx?it=/ЦАР.aspx&lst=country_wiki - Консульский Департамент МИД России, 27 марта 2019

18. <https://szggk.ru/> - СЗГГК «Геокомплекс», 26 февраля 2019

19. https://sos.mid.ru/countries/-/asset_publisher/xDkex51VuOSj/content/central-noafrikanskaa-respublika - Центральноафриканская Республика // ДСКЦ МИД России, 13 марта 2019

20. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/102152/Central-African-Republic/40691/Finance-and-trade> - Central African Republic: Finance and trade // *Encycl. Br.*, 26 февраля 2019

21. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ct.html> - Central African Republic // *World Factb.*, 26 февраля 2019

22. <http://radexpro.com/ru/> - RadExPro, 06 марта 2019

23. <http://xgeo.ru/index.php/ru/> - XGeo, 06 марта 2019

24. <http://zond-geo.com/software/seismic/zondst2d/> - Zond Software // ZondST2D, 06 марта 2019