ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

На правах рукописи

Камара Абубакар Сидики

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФОРМАЦИЯ ЛАТЕРИТНАЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ И ЕЁ ТРАНСФОРМАЦИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Специальность 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
Ярг Людмила Александровна
профессор, доктор геолого-минералогических наук

Москва – 2026 г.

Оглавление

Введение 4

Глава 1. Современное состояние вопроса об инженерно-геологических исследованиях территорий Гвинее 8

Глава 2. Факторы формирования инженерно-геологических условий Гвинейской Республики . 12

2.1. Физико-географические условия района 12

2.2 История формирования геологического строения Гвинеи 18

2.3. Структурно-тектоническое строение 24

2.4. Геологическое строение Гвинеи 27

2.5. Геоморфологические условия 33

2.6. Гидрогеологические условия 36

Выводы 38

Глава 3. Формация латеритная кора выветривания экваториальных стран 40

3.1. Современное представление о латеритных корах выветривания и их влиянии на инженерно-геологические условия территории экваториальной Африки 40

3.2. Пространственное распространение коры выветривание Гвинеи 43

3.3. Условия и причины формирования кора выветривание Гвинеи 47

3.4. Механизм формирования. Гидрохимическая, геохимическая зональность коры выветривания 49

3.5. Инженерно-геологическая зональность латеритных кор выветривание Гвинеи 54

3.6. Закономерности изменчивости состава и физико-механических свойств латеритных кор выветривание Гвинеи 56

Выводы 63

Глава 4. Эволюция коры выветривания Гвинеи на современном этапе развития литосистемы .. 65

4.1. Современная стадия выветривания коры выветривания Гвинеи 65

4.2. Роль коры выветривания в формировании генетических типов четвертичных отложений 88

Выводы 91

Глава 5. Принцип составления специальных инженерно-геологических карт Гвинейской Республики 92

5.1. Современные подходы к инженерно-геологическому районированию 92

5.2. Методика специального инженерно-геологического районирования Гвинеи 95

5.3. Инженерно-геологическая карта геологических процессов территории Гвинеи 97

Экзогенные геологические процессы 99

5.4. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики 107

Выводы 116

Заключение 117

Список литературы 119

Введение

Актуальность работы. Практически повсеместное распространение на территории Гвинеи латеритной коры выветривания (ЛКВ), являющейся основанием для возведения сооружений различного назначения, требует четких представлений о пространственном распространении, зональности строения, особенностях состава и физико-механических свойствах ЛКВ. Важно отметить, что несмотря на стремительное развитие и современную динамику экономического потенциала, вопросы, связанные с инженерно-геологическими исследованиями в Гвинее, обсуждаются очень мало.

Цель работы – развитие теоретических положений формирования инженерно-геологической латеритной формации, её пространственного распространения, зональности строения и закономерностей изменчивости структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств слагающих её грунтов.

Задачи исследований:

1. Изучение факторов формирования латеритной формации экваториальных стран и увязка с современной теорией плит.
2. Изучение закономерностей формирования инженерно-геологической зональности строения латеритной формации, состава и физико-механических свойств слагающих её грунтов.
3. Выявление закономерностей изменчивости физико-механических свойств грунтов кор выветривания Гвинеи.
4. Классифицирование латеритных кор выветривания Гвинеи.
5. Установление закономерностей регионального распространения латеритной формации Гвинеи.
6. Оценка роли латеритной формации в формировании всего многообразия инженерно-геологических условий Гвинеи.
7. Разработка алгоритма инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики и составление схематической карты инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики.

Объектом исследований является латеритная кора выветривания (ЛКВ) Гвинейской Республики.

Предмет исследований: состав, структурно-текстурные особенности, физико-механические свойства латеритных кор выветривания Гвинейской Республики.

Методология и методы исследований

Для выполнения задач диссертационной работы автор применил комплексный подход, который включал:

1. Анализ опубликованных и архивных материалов на русском и иностранных языках.

2. Проведение экспериментальных и полевых исследований лично автором.

3. Использование геоинформационной системы QGIS при создании инженерно-геологических карт.

Фактический материал и личный вклад

Научные положения и выводы базируются на анализе, обобщении обширных литературных и фондовых материалов по геологическому строению и ЛКВ Гвинеи, на экспериментальных и полевых исследованиях автора в период обучения в аспирантуре в течение 2023–2026 гг.: полевой документации обнажений, шурфов и скважин, позонном опробовании пород ЛКВ, лабораторном изучении состава грунтов ЛКВ, определении состояния и физико-механических свойств в соответствии с действующими французскими стандартами ISO и NF, дополненных методами электронной микроскопии, рентгеноструктурным, термометрическим.

Научная новизна. В работе предлагается принципиально новая концепция формирования латеритной коры выветривания, базирующаяся на естественно-историческом подходе с анализом истории геологического развития: начиная с *образования* Леоно-Либерийского эократона, его *трансформации* под влиянием спрединга Африканского и Южно-Американского континентов, сопровождавшегося дифференцированно-блоковыми поднятиями суши*, фазой формирования (развития)* латеритной коры выветривания при совместном воздействии *эндо- и экзогенных геологических процессов и фазой её трансформации* на современном этапе развития.

Автором впервые:

1) Выполнены региональные инженерно-геологические исследования латеритных кор выветривания территории Гвинеи.

2) Составлена Карта специального инженерно-геологического районирования территории Гвинеи.

3) Оценена роль геодинамики Срединно-Атлантического рифта в формировании бокситоносной коры выветривания Гвинеи.

4) Обоснована правомерность выделения инженерно-геологической формации латеритная кора выветривания экваториальной зоны Земли.

5) Оценена роль подземных вод в преобразовании латеритной коры выветривания.

6) Оценена роль миграционной подвижности железа в переформировании порового пространства, структурных связей и свойств грунтов.

7) Выделен «латеритный тип» карста Гвинеи.

8) Обоснован парагенезис эндо- и экзогенного метасоматоза в формировании линейных кор выветривания Лесной Гвинеи.

9) Выполнены комплексные исследования состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств коры выветривания.

10) Определена роль субстрата в формировании инженерно-геологической латеритной формации.

Основные защищаемые положения:

1. Инженерно-геологическая формация — латеритная кора выветривания экваториальных стран (Леоно-Либерийский щит) — это геологическое тело гипергенно-эндогенного происхождения, сформировавшееся: в условиях активной геодинамики континентальных окраин (спрединг Африканской и Южно-Американской плит), создавшей блоково-дифференцированное строение и дискретность массива, в период глобальной эпохи экваториального климата (*K—Q*), и обладающая закономерной изменчивостью минерального и гранулометрического состава, структурно-текстурных связей, физико-механических свойств в вертикальном профиле.

2. Кора выветривания является открытой неравновесной системой: вода — порода — газ — органическое вещество, взаимодействующей с атмо-гидро-биосферой в форме массо-энергообмена. Уникальность системы в ее способности к непрерывной эволюции на всех уровнях организации материи: на микро-, мезо- и макро-, включающей формирование новых минеральных образований, изменение микро- и макроструктур, геометрии порового пространства, дискретности массива пород. Тем самым происходит непрерывная трансформация ЛКВ-системы, при которой изменяются все ее составляющие.

3. При инженерно-геологическом районировании территории Гвинеи значимым компонентом ИГУ является латеритная формация, её субстрат, зональность, мощность. Формация ЛКВ является ведущим фактором специального инженерно-геологического районирования территории Гвинеи.

Теоретическая и практическая значимость.

В работе изложена оригинальная концепция влияния Атлантического рифта на формирование латеритной бокситоносной коры выветривания. Концепция базируется на системном подходе, учитывающим взаимодействия атмосферы, биосферы и литосферы при формировании латеритной КВ Гвинеи, и является основой для понимания закономерностей формирования состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств инженерно-геологической латеритной формации коры выветривания Гвинеи.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов в практике инженерно-геологических изысканий. «Специальная инженерно-геологическая карта эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинейской Республики» и «Карта инженерно-геологического районирования территории Гвинейской

Республики» представляют собой инструмент принятия решений при макроэкономическом планировании развития территории, знаменующей новую динамику современного развития страны.

Апробация работы и публикации.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: XI Международной научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2024 г.); XVII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2025 г.); XII Международной научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2026 г.).

По теме диссертации опубликовано 4 научные работы, в том числе 2 статьи в ведущем рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объём диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти (5) глав, заключения, содержит 127 страниц машинописного текста, 65 рисунков, 20 таблиц, списка литературных источников из 127 наименований, в том числе 62 зарубежных авторов.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, профессору, доктору геолого-минералогических наук Ярг Л.А., не только за её мудрое руководство, неизменное терпение и постоянную помощь при написании диссертации, но и, прежде всего, за то, что она поддерживала и направляла автора на протяжении всех трёх лет работы, с самого начала верила в успех исследования, давала ценные советы и своим профессиональным примером поддерживала уверенность в правильности выбранного пути. Автор выражает глубокую благодарность заведующему кафедрой инженерной геологии Горобцову Д.Н., профессорам Дроздову Д.С., Вязковой О.Е., Фоменко И.К., доцентам Невечеря В.В., Буфееву Ф.К. и всем сотрудникам кафедры инженерной геологии МГРИ, а также кандидату г.-м. наук Чернову М.С (МГУ) и всему коллективу Geotec- Guinée за прием и предоставление материалов по гвинейским латеритам.

Глава 1. Современное состояние вопроса об инженерно-геологических исследованиях территорий Гвинее

Инженерно-геологические исследования всегда имели чрезвычайно важное значение при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов. Эти исследования позволяют получать научную информацию о природной среде, в том числе: геологическом строении, геоморфологии, гидрогеологических условиях, геодинамических процессах (эрозия, оползень, землетрясение, наводнение и т. д.), свойствах горных пород и прогнозировании их изменений в процессе строительства и эксплуатации различных сооружений. При отсутствии инженерно-геологической информации нереально установить взаимосвязь в процессах взаимодействия технической и природных систем.

Геологические исследования являются неотъемлемой частью инженерной геологии. В концепции И.В. Попова инженерная геология трактуется как раздел геологии, предметом которого служит геодинамика приповерхностной части земной коры в её взаимодействии с инженерными объектами [44]. Следовательно, центральным объектом дисциплины выступает геологическая среда — с присущими ей структурными элементами, свойствами и процессами, в ней протекающими [6].

По мнению Трофимова В. Т [55, 56], инженерная геология определяется как «наука о геологическом цикле, изучающая инженерно-геологические условия верхних горизонтов земной коры (литосферы), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых геологических процессов, формирующихся в ходе развития земной коры под влиянием совокупности всех природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной деятельностью человечества».

Для понимания «экзотических» особенностей инженерно-геологических условий территории Гвинеи необходимо чёткое представление об истории её геологического развития и структурно-геологическом строении, как фундаментальной основы инженерной геологии.

Геологическое изучение Гвинеи началось в первой половине XIX века, когда европейцы проникли в Западную Африку. Самые первые сведения о геологическом строении страны связаны с именами известных исследователей: Тернминка (1853), Ламберта Л. (1861), Изюма К. (1893) [31].

Историю геологического изучения страны (Гвинейской Республики) можно свести к двум этапам.

Первый этап (1900–1958 гг.) соответствует колониальному периоду. В это время появились работы по отдельным небольшим территориям [31]. В конце 1930-х — начале 1940-х годов был

достигнут огромный прогресс в изучении геологического строения Гвинеи. Результаты этих работ нашли отражение в ряде монографий, опубликованных Goloubinow R. (1936–1940) [91, 92] по геологии и генезису месторождений золота и бокситов Гвинеи, Obermuller A. (1938–1946) [105, 106, 109] о геологических формациях Южной Гвинеи, Furon R. (1943) [90] о геологическом строении Гвинеи. В период с 1944 по 1957 год Геологическая служба Французской Западной Африки с центром в Дакаре издала геологические карты страны масштаба 1:500 000 с пояснительными записками на следующих листах: Киндия – запад Гвинеи (Chetelat E, 1946) [78]; Канкан – восток и запад (Gloubinov R. et al., 1948) [93]; Киссидугу и Тинсу – восток (Obermuller A., 1948) [107]; Киссидугу – запад (A. Obermuller et al., 1951) [108]; Конакри – восток и запад (Daclaire L., 1955, 1957) [79].

Второй этап (1958г. – Н-в). Геологические исследования активизировались после обретения страной независимости в 1958 году. Работы проводились советскими организациями (OSRG, 1967–1974), затем совместными гвинейско-российскими (OZGEO-ORG-DNG, 1974–1994). С 1967г. начались очень важные для Гвинейской Республики систематические геологические изыскания масштаба 1:200 000 при техническом содействии СССР. Это работы Ю. В. Селиверстова, Ю.В. Буфеева, А. Петровского, Б. М. Михайлова и др. по геологии, геоморфологии и формациям Гвинеи [8, 9, 33, 47, 48, 81, 113], монография Вильнева М. об эволюции осадочного бассейна северо-восточной Гондваны в протерозойский и палеозойский периоды [126].

К 1993 г. работы охватили всю западную и центральную часть территории Гвинеи. В 1997–1999 гг. геологическое картирование в масштабе 1:200 000 восточной и юго-восточной территории страны выполнили французские геологи BRGM [85, 86, 88, 89, 95, 101, 121, 122]. Обзор упомянутых работ был опубликован в книге Мамедова В. И. «Геология Гвинейской Республики» [31]. Последовательность проведения геологических изысканий и авторы листов геологических карт показаны на рисунке 1.1.

Несмотря на широкий спектр геологических исследований, инженерно-геологические условия Гвинее изучены крайне слабо. Первые инженерно-геологические работы были проведены во время реализации нескольких проектов в Гвинейской Республике в 1960-х годах, включая строительство плотин, заводов, зданий и т. д. В этих работах возникают вопросы, связанные с латеритной корой выветривания широко распространённой в гвинейском ландшафте. Практически на всех автохтонных породах, на разных уровнях рельефа и разных по возрасту породах развиваются процессы латеритного выветривания, что приводит к образованию продуктов выветривания, с которыми, в первую очередь, связан основной минерально-сырьевой потенциал страны.

В Гвинее латеритные грунты служат основанием для сооружений, а также используются в качестве строительного материала при возведении автомобильных и железных дорог, мостов, плотин, гражданских и промышленных зданий, аэро- и морского портов, при разработке многочисленных крупных карьеров.

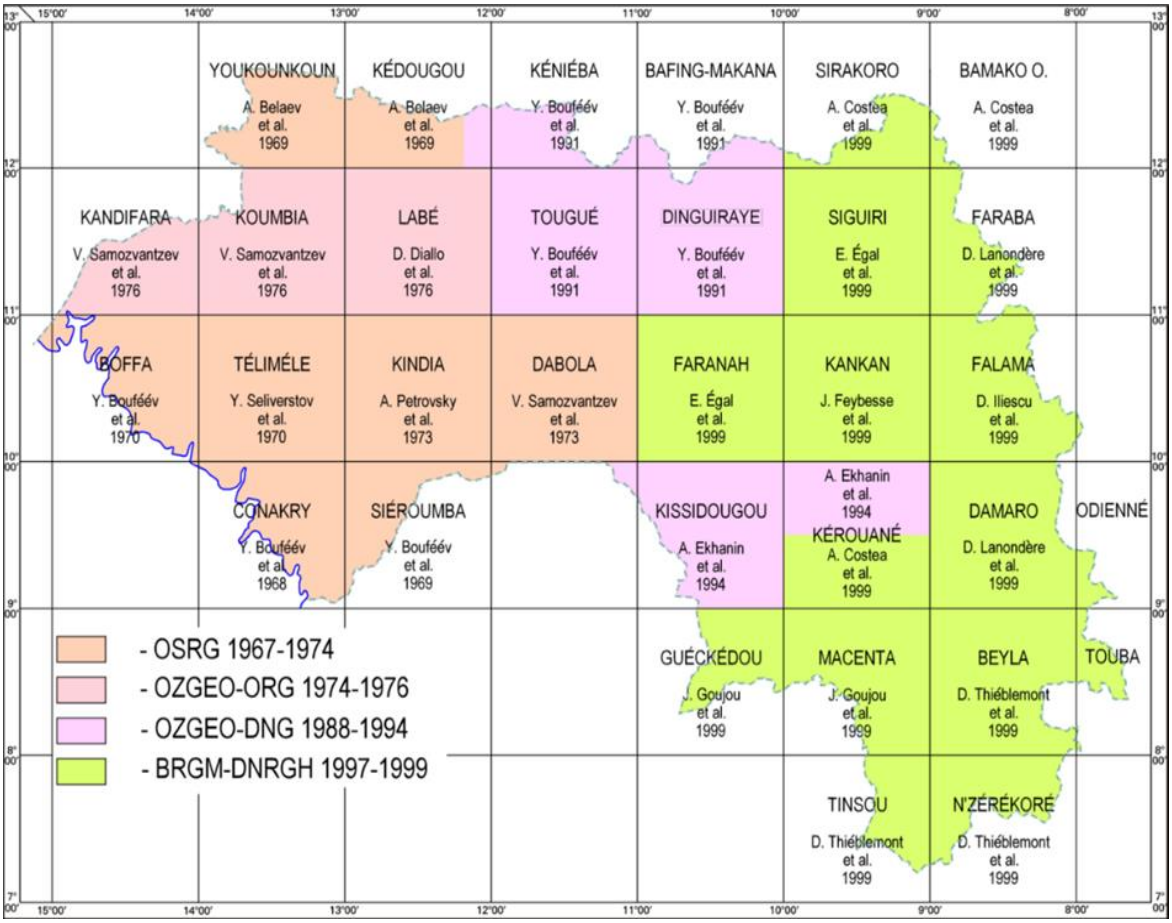


Рисунок. 1.1. Картограмма геологической изученности работами масштаба 1:200 000 [31]

Именно корам выветривания посвящены работы: Г.К. Бондарика (1963) [7] о зональности строения латеритной коры выветривания Фута-Джалон, публикации Серрано А.А и Oteo C.S, (1978) [117], связанные с анализом физико-механических свойств пород латеритных кор при проектировании гражданских сооружений города Мали; Скиба С.И. (1979) [49], Викторова В.Т (1983) [10], исследовавший физико-механических свойств пород латеритной коры выветривания. Кузин С.В (2013, 2014г.) [26, 27] опубликовал результаты исследований строения коры выветривания мезозойских долеритов и технико-геологические характеристики пород коры выветривания ордовикских песчаников формации Пита в провинции Боке (в прибрежной зоне Гвинеи). В 1991 году Sylla et al. [119] создал первую карту геолого-технического районирования г. Конакри и его окрестностей. В 2023г. С. Камара и др. [20] была опубликована Специальная инженерно-геологическая карта, содержащая информацию о пространственном распространении

инженерно-геологических процессов, и предназначенную для использования при планировании экономического развития территории.

Важно отметить, что в последние десятилетия объём инженерных и геологических работ значительно возрос. На данном этапе активизации инженерных изысканий по изучению коры выветривания в Гвинее работы ведутся различными компаниями и лабораториями, которые, к сожалению, не публикуют результаты своих исследований.

В условиях ускоренной урбанизации одной из основных задач инженерно-геологического исследования является создание специальной карты инженерно-геологического районирования Гвинейской Республики. Она помогает в выборе места расположения инженерных сооружений, во избежание любого нарушения динамического баланса геологической среды, а также неблагоприятных последствий, которые могут влиять не только на экономичность и долговечность сооружений, но и на их безопасность.

Настало время сделать обобщение фрагментарных сведений о латеритных грунтах страны.

Анализ отечественного опыта развития инженерно-геологических исследований и новая динамика современного развития Гвинейской Республики позволяет сделать вывод о том, что инженерно-геологические исследования находятся на начальном этапе развития, что подчеркивает актуальность и обоснованность исследований автора.

Глава 2. Факторы формирования инженерно-геологических условий Гвинейской Республики

К инженерно-геологическим условиям относятся факторы, определяющие влияние атмосферы и биосферы на формирование коры выветривания. К этим факторам относятся: климат, рельеф, гидрография, типы почв, геолого-тектоническое, геоморфологическое и гидрогеологическое строение.

2.1. Физико-географические условия района

Гвинейская Республика расположена на юго-западе Западной Африки, занимает площадь 245 857 км^2, с населением 17521167 жителей (2026г.). Страна, расположена между экватором и тропиком Рака. На западе она омывается Атлантическим океаном и граничит с Гвинеей-Бисау, Сьерра-Леоне, Либерией, Кот-д'Ивуаром, Сенегалом и Мали (рисунок 2.1).

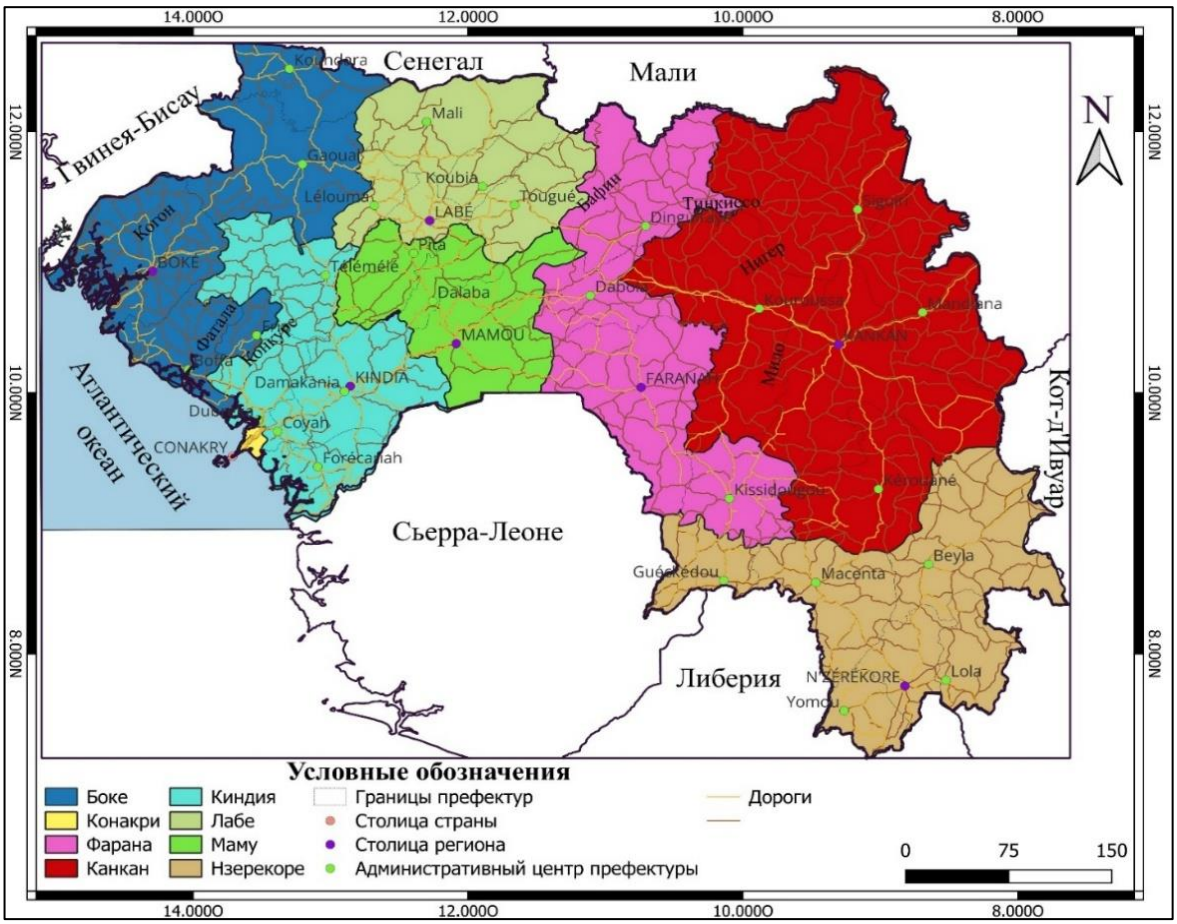


Рисунок 2.1. Географическое расположение района исследования

Климат всегда был в центре внимания инженеров-геологов, поскольку он в значительной степени влияет на динамику экзогенных геологических процессов (выветривание, оползни, эрозия и др.) и физико-механическое свойства грунтов верхней части литосферы.

Согласно климатическим данным, Гвинея характеризуется субэкваториальным климатом с резко выраженным чередованием влажного и сухого сезонов. Продолжительность сезона дождей

варьируется от 3 (на севере) до 9 месяцев (на юго-востоке) [102]. Количество атмосферных осадков колеблется от 1000–1500 мм/год во внутренних районах Гвинеи, до 4000 мм/год – на побережье [98]. Среднегодовые температуры воздуха во внутренних районах составляют 22-27°C; на побережье – 25-30°C.

Годовая изменчивость этих двух параметров проиллюстрирована на рисунке 2.2.

Формированию латеритных кор выветривания способствовал тропический климат, высокий температурный режим, большое количество осадков, сохранявшиеся даже в период максимального оледенения (рисунок 2.3).

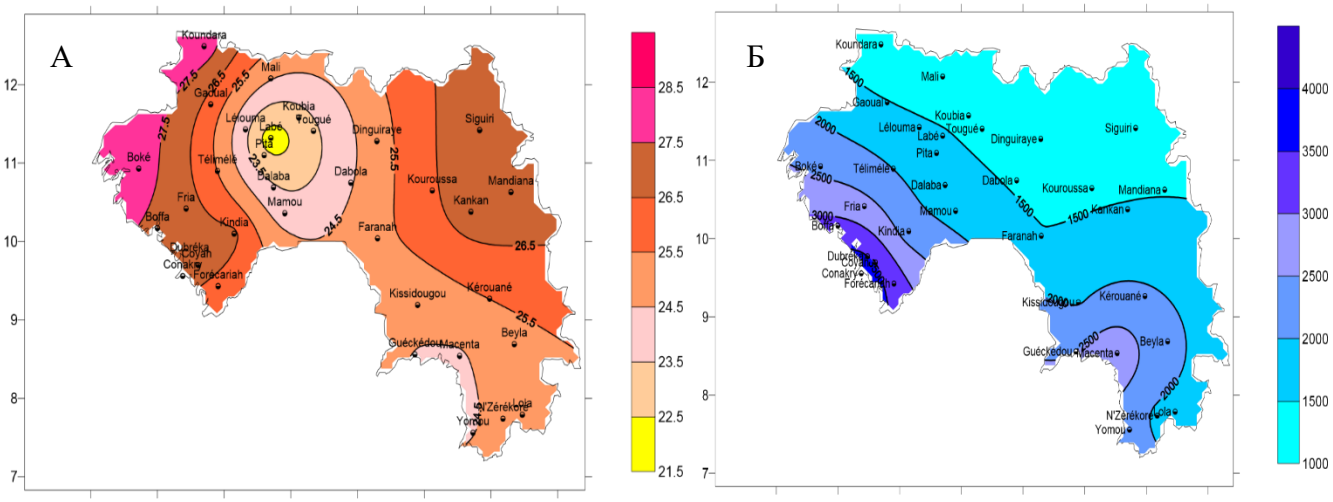


Рисунок 2.2. Схематические карты климатических параметров Гвинейской Республики (1961-2004 гг.): А — среднегодового количества осадков; Б — среднегодовых температур воздуха [127]

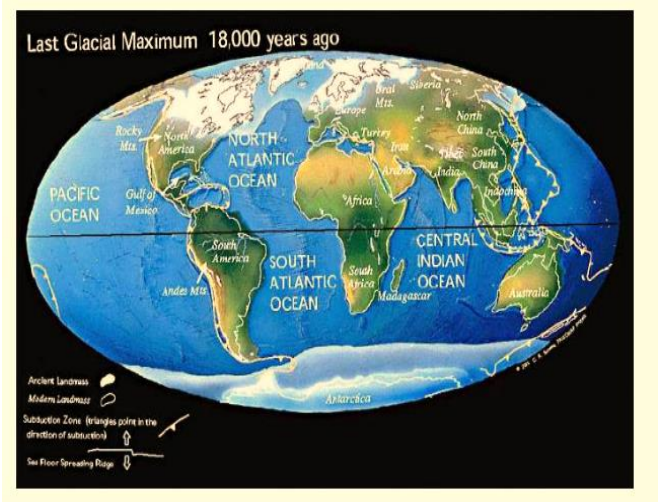


Рисунок 2.3. Карта максимального оледенения на Земле

Рельеф. В соответствии с климатическими характеристиками и рельефом местности [98], страна разделена на четыре природных региона: Приморская Гвинея (Нижняя Гвинея), Средняя Гвинея (Фута-Джаллон), Верхняя Гвинея и Лесная Гвинея (рисунок 2.4).

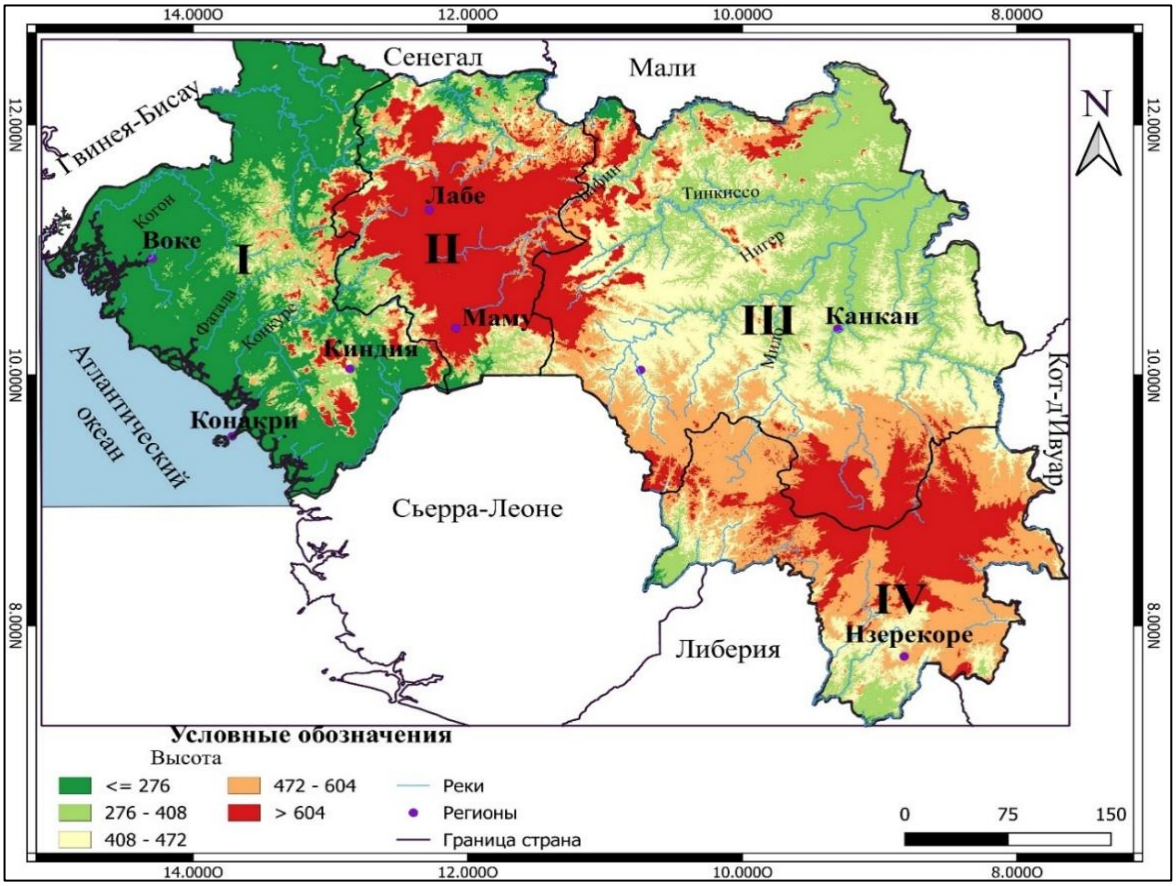


Рисунок 2.4. Природные регионы Гвинеи: Нижняя или Приморская Гвинея (I), Средняя Гвинея или Фута-Джаллон (II), Верхняя Гвинея (III), Лесная Гвинея (IV)

Нижняя или Приморская Гвинея (I) – прибрежная равнина, которая простирается от побережья Атлантического океана на западе до скал Фута-Джаллон на востоке. К востоку от города Конакри над равниной возвышаются горы Ганган (абс. отм. 1117м) и массив Бенна (абс. отм. 1214м).

Средняя Гвинея или Фута-Джаллон (II) – плато с абс. отм. до 750м (наивысшая точка г. Лоура, абс. отм 1532м), занимает западную часть страны. Плато имеет ярусное строение, изрезано долинами и впадинами.

Верхняя Гвинея (III) граничит на западе со Средней Гвинеей, на востоке с Кот-д'Ивуаром, на севере с Мали, на юге – с Лесной Гвинеей. Морфологически она представляет собой пологую поверхностью, постепенно снижающуюся с юго-запада на северо-востоке (с абс. отм. 650м до 350-400м) и изрезанную пологими и неглубокими долинами (эрозионный врез – 5-20м) современных водотоков. В центральной части равнины возвышается горный массив Ниандан (абс. отм. 600–850м), прорезаемый долиной р. Нигера на широте города Курусса.

Лесная Гвинея (IV) граничит на западе с территорией Сьерра-Леоне, на севере с Верхней Гвинеей, на востоке с Кот-д'Ивуаром и на юге с Либерией. Это система горных хребтов (Нимба – абс. отм. 1752м, Симанду – 1656м, Беро –1210м и др.), отделенных друг от друга эрозионными долинами и межгорными впадинами. Регион характеризуется большей изрезанностью рельефа**.**

Разнообразие рельефа в Гвинейской Республике оказывает существенное влияние на образование латеритов, поскольку регулирует распределение осадков, которые имеют решающее значение для интенсивности и степени процесса латеритизации.

Гидрография. Страна имеет очень плотную гидрографическую систему (рисунок 2.5). Всего была проведена инвентаризация 1161 водотоков, которые сгруппированы в 23 речные бассейна, 14 из которых являются общими с соседними странами. Реки берут свое начало в двух горных районах: Фута-Джаллон и Гвинейском хребте.

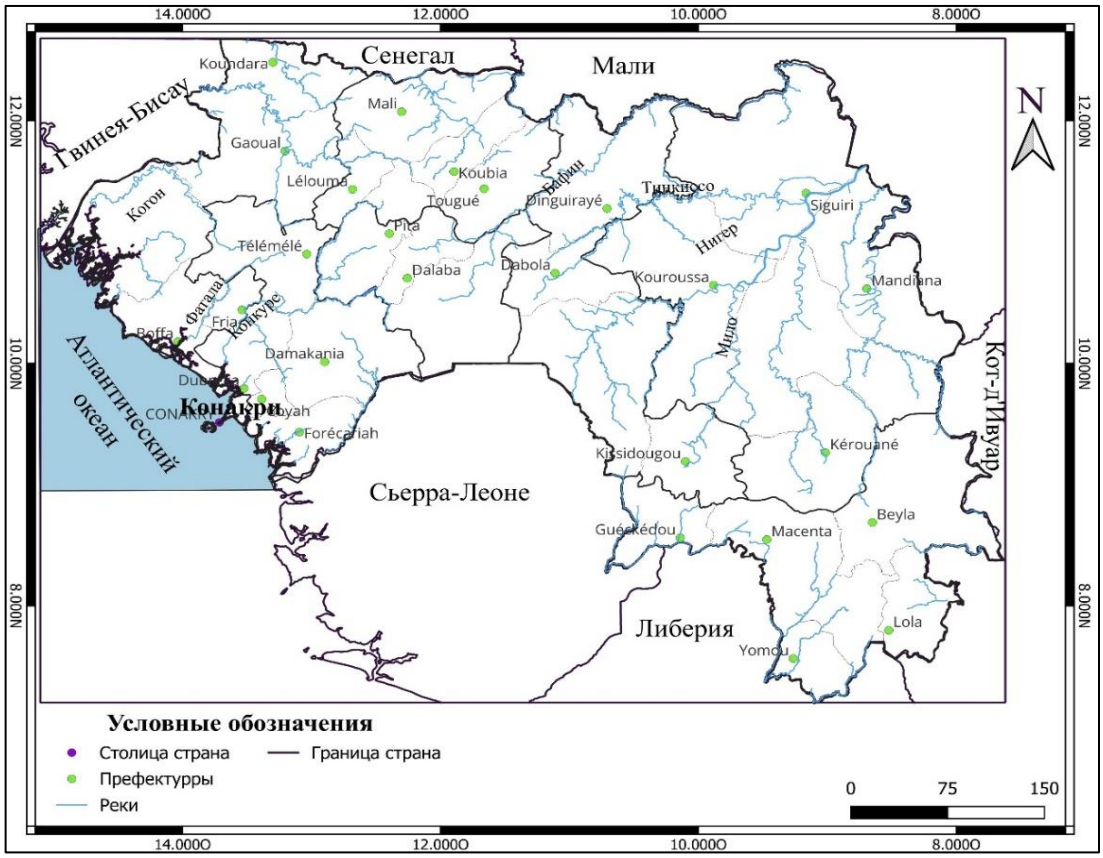


Рисунок 2.5. Гидрографическая сеть Гвинейской Республики

Горные хребты Фута-Джаллон и Гвинейский хребет представляют собой водораздел, который пересекает территорию Гвинеи с Северо-Запада на юго-восток. Здесь берут начало реки: Cogon, Tinguilinta, Fatala, Konkouré, Mélakhouré и Koliba, Gambia на Западе; устья рек Bafing и Bakoye, образующие реку Sénégal; на Востоке -Tinkisso; в Сьерра-Леоне, на юге, в Kabé и Kolenté.

С хребтов Гвинеи берут начало и текут в северо-восточном направлении правобережные притоки р. Нигер (Mafou, Niandan, Milo и Sankarani), а в южном направлении — реки Лесной Гвинеи (Makona, Loffa, Diani и Kabali) [127].

Как правило реки наследуют многочисленные разломы, пересекающие территорию Гвинеи.

Огромный водный потенциал в сочетании с большим количеством атмосферных осадков создают условия для ежегодных наводнений, подтоплений территории и процесса деградации почв, носящих катастрофический характер.

Почвы и растительность. Основной тип почв – ферралитовый (sols ferralitiques) – красноцветы. Красная окраска связана с большим содержанием свободных оксидов железа и алюминия, вследствие миграции энергично выносимых – (хлор и сера) и легко выносимых (натрий, кальций, магний и калий) компонентов фильтрующимися дождевыми осадками, обогащёнными органическими кислотами за счёт разложения лесной подстилки.

Почвы, мощностью - 20-30см, с содержанием гумуса 2–3 %, имеют высокую фильтрационную способность вследствие большой пористости и, соответственно, хорошо аэрированы и характеризуются *низким естественным плодородием*.

Леса занимают 54 % территории страны [83], но большая их часть представлена вторичными редко-стойными листопадными деревьями. Коренные влажные вечнозелёные леса сохранились лишь на склонах Северо-Гвинейской возвышенности. По долинам рек фрагментарно узкими полосами встречаются галерейные леса. Вдоль побережья произрастают мангровые заросли.

Весьма древнее происхождение имеет растительный и животный мир Тропической Африки. Так, гвинейская гигрофильная лесная флора является целиком третичной.

Антропогенное преобразование природы Тропической Африки — результат многовековой практики земледелия, включающей периодическое выжигание естественной растительности и приведшей к постепенному уничтожению первичных лесных формаций на огромных пространствах, к локальному изменению климата и водного баланса, водного и теплового режима почв, животного мира — к изменению всего природного комплекса. «Фактически подсечно-огневое земледелие, если и не создало саванны как тип ландшафта, то раздвинуло их границы поистине безбрежно, превратив первоначально лесную Тропическую Африку в классический край саванн» [18].

Тропическая растительность создаёт лесную подстилку, являющуюся одним из самых богатых компонентов лесной экосистемы, поскольку она продуцирует большое количество органических и неорганических кислот, оказывает большое влияние на грунты, способствуя их разложению.

Минеральные ресурсы Гвинеи. По разведанным запасам полезных ископаемых Гвинея занимает одно из ведущих мест на Африканском континенте. Недра страны содержат широкий спектр стратегически важного минерального сырья: бокситы, железные руды, алмазы, золото, никель, уран, марганец, известняк и графит (рисунок 2.6).

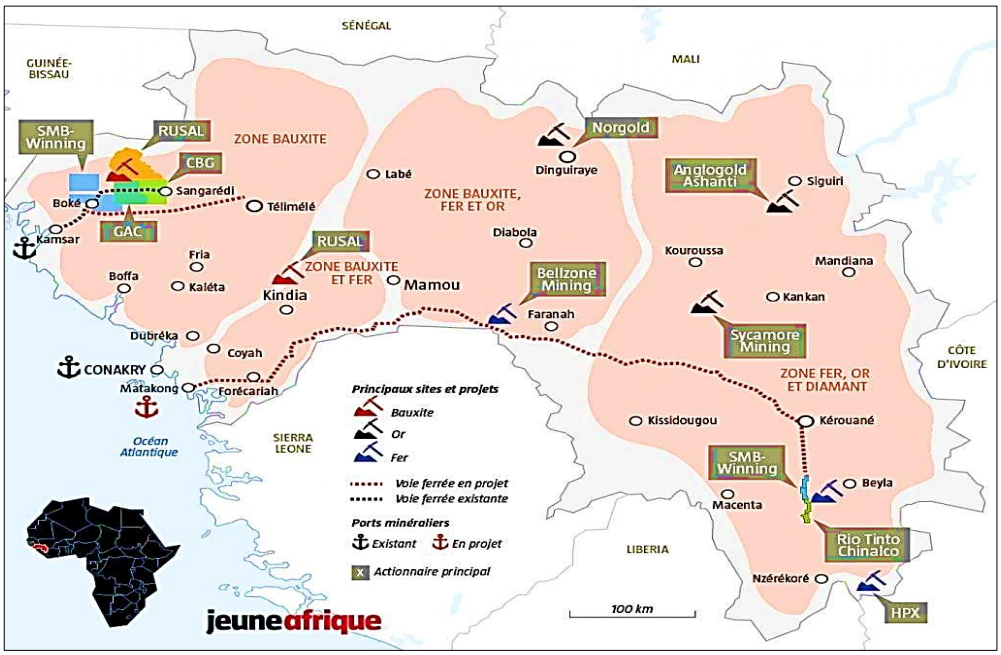


Рисунок 2.6. Сематическая карта минеральных ресурсов Гвинеи

Латеритные коры выветривания служат источником железа и алюминия. Разработка месторождений ведётся, как правило, открытым способом (рисунок 2.7.).



Рисунок 2.7. Разработка бокситового месторождения Сангареди

Крупнейшие месторождения бокситов в коре выветривания сосредоточены на северо-западе (Сингури, Сангареди, Диан-Диан) страны. Запасы бокситов в 35–40 млрд тонн составляют 35% от мировых. Крупные запасы высококачественной железной руды (1,8+ млрд тонн) сосредоточены в железистой коре выветривания на юго-востоке и юго-западе страны. Самым крупным является месторождение Симанду, с 2026 г. уже разрабатывается китайской компанией. Золото добывается преимущественно на северо-востоке (район Сигири). Коренные и россыпные месторождения алмазов – в основном на юго-востоке страны. Между тем значительный промышленный потенциал страны в настоящее время остается нереализованным, и стране требуется подъём индустриализации.

Вместе с тем, важным компонентом инженерно-геологическая условий при оценке сложности разработки месторождений является ЛКВ, в частности линейного типа, мощность которой может достигать более 300 м.

2.2 История формирования геологического строения Гвинеи

Территория Гвинеи относится к Западно-Африканскому Кратону, Леоно-Либерийскому массиву (рисунок 2.8), который является одним из древних кристаллических массивов в мире и относительно стабильным около 1600 млн лет [71, 125], состоящие из гранито-гнейсов архея и раннего протерозоя.

В верхнем протерозое происходит раскол фундамента, сопровождающийся образованием в западной его части синеклизы Таудени и авлакогена Рокель-Бассари. В мелководном бассейне в условиях интенсивного терригенного сноса морское осадконакопление продолжается с верхнего протерозоя до девона. Формирующийся осадочный чехол, сложенный алевролитами, аргиллитами, песчаниками, с прослоями известняков с размывом залегает на кристаллическом фундаменте. В геологическом строение Гвинеи сформированы две крупные тектонические единицы: в восточной части территории преобладают образования, состоящие из гранито-гнейсов архейского и раннего протерозойского возрастов, а на западе Гвинейской территории образования осадочного чехла, сложенного терригенными формациями.

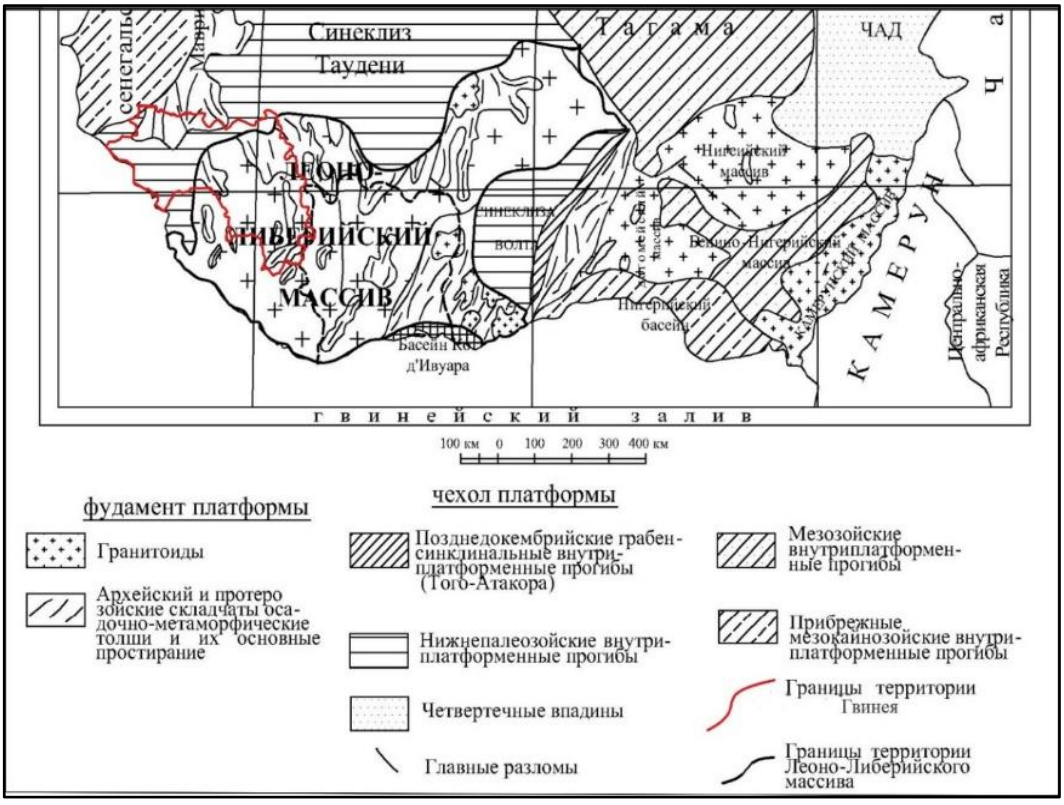


*Рисунок 2.8. Фрагмент структурно-тектонической карты Западной Африки (*по: Коне А.М. [24], с дополнениями*)*

С мезозоя (по настоящее время) устанавливается континентальный этап развития: с преобладающими положительными движениями, способствующими образованию поверхностей выравнивания и формированию коры выветривания.

Геологическое строение массива значительно усложнилось в период Пан-Африканской активизации, сопровождавшейся континентальным вулканизмом с образованием траппов и кимберлитов [31]. А.А. Пейве [35, 36] связывает формирование траппов и кимберлитов со спредингом Африканской и Южно-Американской плит и формированием экваториального сегмента – рифта Сьерра-Леоне.

Большинство структур Африканского континента связаны с геодинамикой процессов, протекающих в океанах. Центральная Атлантика представляет собой один из ключевых объектов для понимания тектонических процессов и формирования структур Экваториальной Африки в мезо-кайнозое [36]. Для Атлантического океана характерна сложная геодинамика, реализующаяся в сочетании как нормального спрединга с формированием хорошо известного классического разреза океанической коры, так и проявлением процессов, ведущих к формированию хаотического разреза коры (рисунок 2.9).

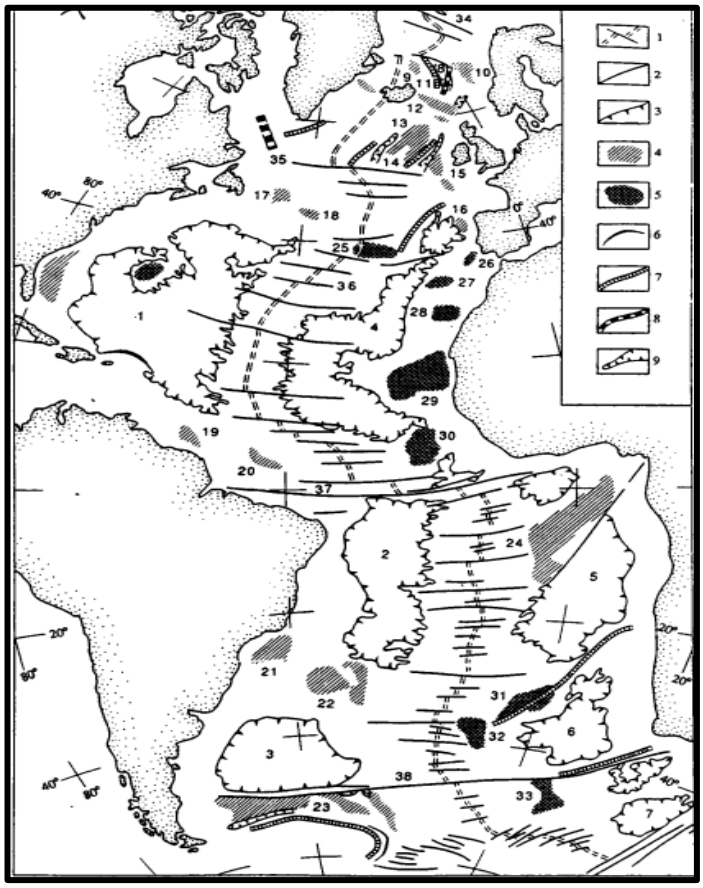


Рисунок 2.9. Структурная карта-схема Атлантического океана [36]*:*
1 - рифтовая зона Срединно-Атлантического хребта; 2 - поперечные разломы; 3 - наиболее глубокие части океанических впадин (5000 м, местами более); 6 — глубоководные желоба; 7 — линейные поднятия различной природы; 9 — троги. Цифры на схеме: впадины (1-8): 1 - Северо-Американская, 2 - Бразильская, 3 - Аргентинская, 4 — Канарская, 5 — Ангольская,

б — Капская, 7 — Агульяс, 8 — Норвежская; фрагменты континентальной коры (9—24): 24 — Гвинейский (?); тектономагматические провинции (25-33): 25 - Азорский, 26 - Горриндж, 27- Мадейра, 28 - Канарский, 29 - Зеленого Мыса, ***30 - Сьерра-Леоне****, 31 - Китового хребта, 32 - Тристан-да-Кунья, 33 - Метеор; некоторые разломы (34—38): 34 — Шпицбергенский, 35 — Чарли Гиббса, 36 — Хейес,* ***37 — Романш****, 38 - Фолкленд-Агульяс*

Большая роль в формировании экваториальной Африки, принадлежит геодинамике: спредингу Африканской и Южноамериканской плит и развитию Срединно-Атлантический рифта. «С точки зрения “трансформной геодинамики” спрединговая зона и трансформные разломы представляют собой динамопару: раскалывание литосферы и разнонаправленное дискретное движение литосферных масс» [45].

В сложно построенном *Экваториальном* сегменте рифтовой системы выделяются зоны резкого сгущения поперечных разломов, смещающих рифтовую зону на восток. Детальное изучение района разлома Сьерра-Леоне с помощью многолучевого эхолота SIMRAD 12S, непрерывного сейсмопрофилирования и драгирования выполнялось в ходе рейсов судна "Академик Николай Страхов" в Центральную Атлантику в 1984-1994, 2000гг. (рисунок 2.10), по проектам "Мировой океан": "Тектонические структуры, магматизм и глубинное строение океанского и морского дна", совместно с сотрудниками Института морской геологии Италии, проводилось под научным руководством академика Ю.М. Пущаровский [35, 45].

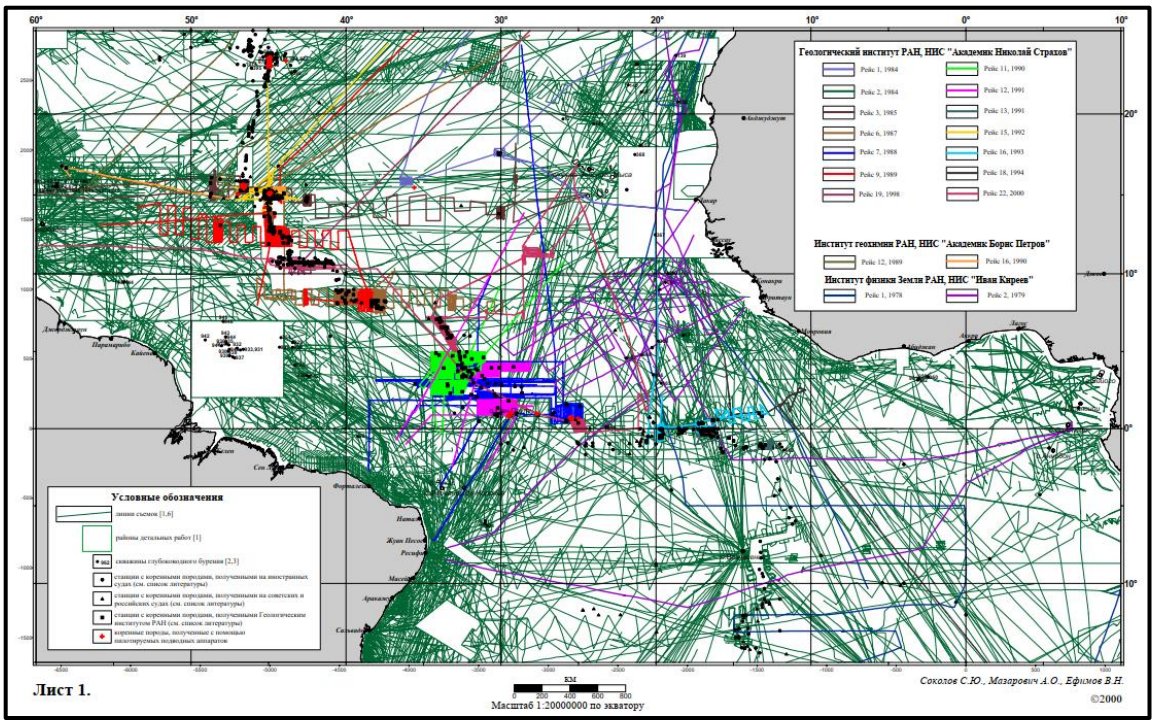


Рисунок 2.10. Схема изученности центральной части Атлантического океана (по материалам Геологического института РАН, 2019г) [52]

Исходя из кинематики движения плит начальный этап раскрытия экваториальной области, проходил не в широтном, а в меридиональном направлении и реализовался в виде правосторонних сдвиговых деформаций с растяжением [46]. При этом произошел раскол и

последующее раздвигание в меридиональном направлении собственно континентальной литосферы, фиксируемые двумя группами поперечных линиментов с разным простиранием, разделённых Гвинейским разломом. Сложная форма границы раскола Африки - Южной Америки в районе Гвинейского залива связана с плюмовой областью [45].

Исследования в районе разлома Сьерра-Леоне (рисунок 2.11) выявили сложную картину формирования Экваториального сегмента Срединно-Атлантического хребта (5°00' - 7°20' с.ш.) [35]. Структура характеризуется весьма неоднородным строением и сложной геодинамикой. Рифт Сьерра-Леоне имеет сложную форму с многочисленными изгибами. Дно современной рифтовой долины Сьерра-Леоне плоское, сложено потоками свежих подушечных базальтов, высота борта желоба достигает 1800-2800 м, обнаружены признаки широко распространенной гидротермальной активности. Сложное сочетание разновременных и разнонаправленных полей напряжений сопровождается образованием многочисленных зон деформаций, в данном случае зон растяжения.

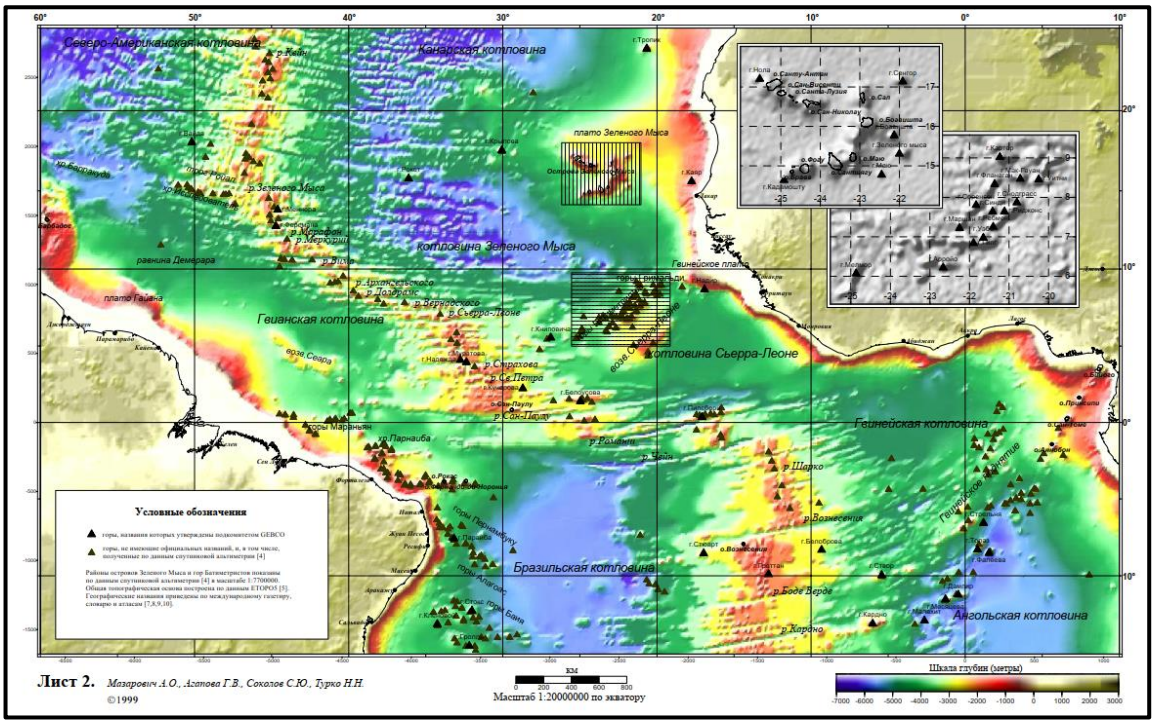


Рисунок 2.11. Физико-географическая карта центральной части Атлантического океана (по материалам Геологического института РАН, 2019г) [29]

С формированием и эволюцией структур Атлантического океана связано формирование и эволюция тектонического строения континентальной части Африки. Глобальные тектонические воздействия экваториального сегмента САХ на Леона-Либерийского щита обусловили (рисунок 2.12) образование системы трансформных глубинных разломов, ориентированных на северо-восток [31].

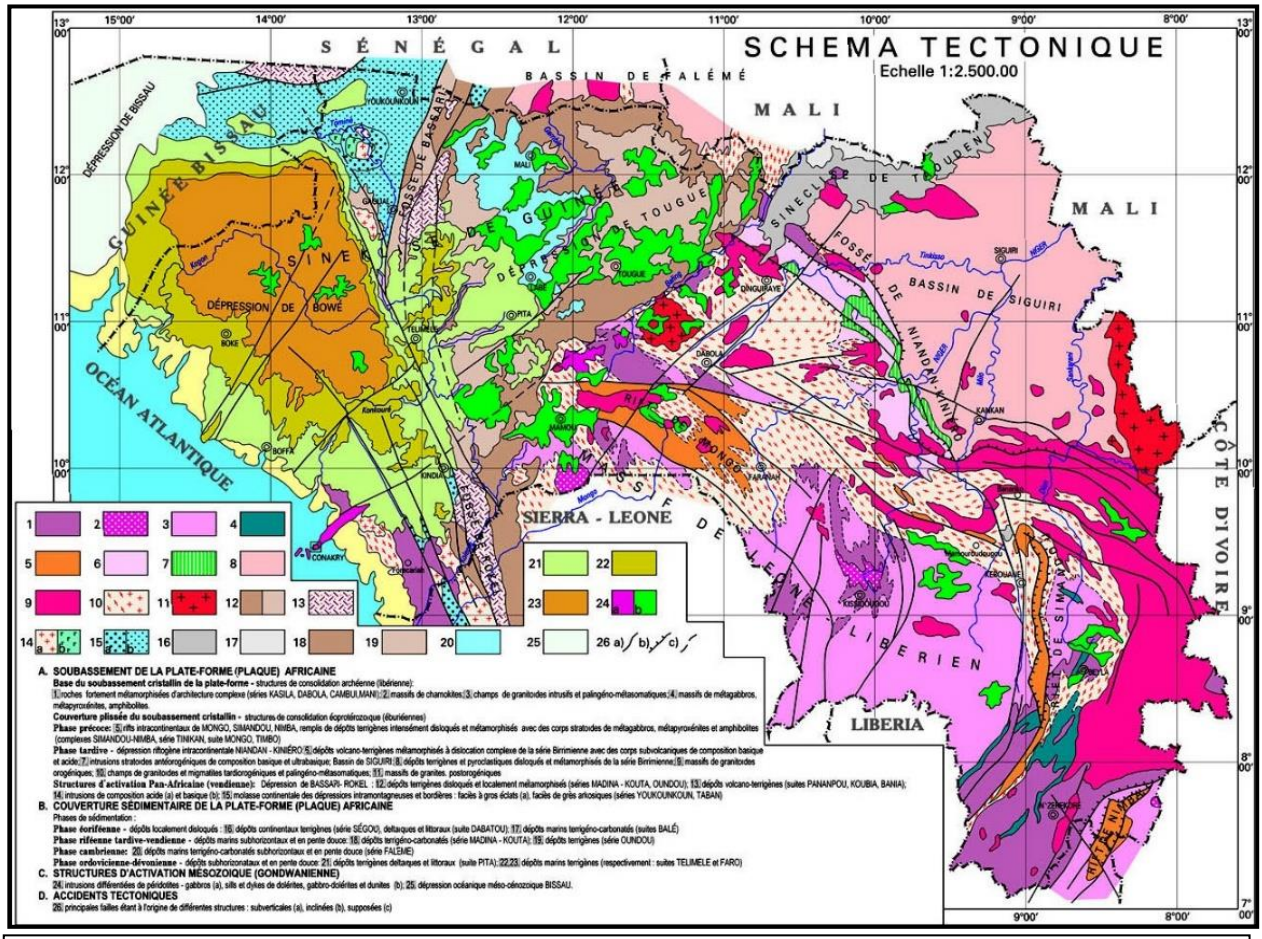


Рисунок 2.12. Тектоническая схема и разломная тектоника и блоковое геологическое строение Леоно-Либерийского массива (Гвинейской Республики) [31]*: 1– метаморфизованные породы серии Kassila, Dabola, Kamboui, Mani); 2 – массивы шамозитов; 3–интрузивные и метасоматические гранитоиды; 4 – габбро-пироксениты, амфиболиты ; 5- внутриконтинентальные рифты Mongo, Simandou, Nimba, выполненные комплексами Simandou – Nimba, серией Tininkan, свитой Mongo, Timbo; 6, 7, 8 – дислоцированные и метаморфизованные терригенные и пирокластические отложения серии Бирим; 9, 10 – орогенные гранитоидные массивы; 11- пост-орогенные гранитные массивы; 12– локально дислоцированные и метаморфизованные терригенные отложения серии Madina-Kouta, Oundou; 13– вулканно-терригенные отложения свиты Panatpou, Koubia, Bania; 14 – интрузии кислотного (а) и основного (б) состава; 15 – моласса внутренних и краевых депрессий: грубые фации (а), фации аркозовых песчаников серий Youkounkou, Taban; 16 – терригенные континентальные отложения серии Ségou, дельтовые и литоральные отложения свиты Dabatou; 17, 18 – терригенно-карбонатные отложения свиты Balé, серии Madina-Kouta; 19 – терригенные отложения серии Oundou; 20 – терригенно-карбонатные морские отложения серии Falémé; 21- дельтовые и литеральные терригенные отложения, свита Pita; 22-23 – морские терригенные отложения свит Télémélé и Faro; 24 – дифференцированные интрузии перидотит-габбро (а), долеритов, габбро-долеритов и дунитов (б); 25 – мезо-кайнозойская океаническая депрессия Бисау; 26 – основные разломы: субвертикальные (а), наклонные (б), предполагаемые (в)*

Наиболее широко они установлены в районе полуострова Калум (местоположение г.

Конакри), в долине р. Bafing (мезозойские разломы), на участках Guekédou – Manfran, Diani – Milo и в других местах. С указанными разломами связана сеть оперяющих нарушений и зон трещиноватости, из которых наиболее широкое распространение имеют субширотное и северо-западное направление. Все они создали сложную систему магмаподводящих каналов и проницаемых зон, которые обусловили формирование обширных полей трапповых интрузий и даек мантийных кимберлитов [31].

Дискретность массива создают не только крупные тектонические разрывы, но и сопряженные с ними зоны трещиноватости различного типа [1, 50]: а) оперения разломов; б) веерообразной трещиноватости расщепления разлома; в) системы мелких крутопадающих трещин дробления, возникающие в днищах грабенов и тектонических депрессий; г) системы трещин растяжения и дробления, развивающиеся в куполовидных частях антиклинальных структур и др.

Медленные вздымания Леоно-Либерийского щита благоприятствовали раскрытию старых и возникновению новых трещин. На протяжении длительной истории развития они неоднократно подновлялись.

Системы трансформных глубинных разломов и многочисленных оперяющих нарушений создали высокую проницаемость массива; внедрение многочисленных трапповых интрузий и мантийных кимберлитов; повышенный теплопоток в зонах разломов; усиление гидротермальной деятельности; блоковое строение массива; дифференцированные разнонаправленные блоковые перемещения в массиве; формирование поверхностей выравнивания и заложение речных долин.

Геотектоника привела к дискретности Леоно-Либерийского массива (рисунок 2.13), испещренного крупными, в том числе трансформными разломами, дифференцированным разнонаправленным блоковым перемещениям, создала высокую проницаемость массива, огромную удельную поверхность взаимодействия с агентами выветривания и сформировала предпосылки к формированию площадных и линейных кор выветривания (рисунок 2.14).



Рисунок 2.13. Дискретность массива в зоне континентальных окраин



Рисунок 2.14. Глобальные тектонические воздействия экваториального сегмента САХ на Леоно-Либерийский щит

Важная роль в формировании латеритной формации КВ Леоно-Либерийского кристаллического массива, принадлежит геодинамике: спредингу африканской и южноамериканской плит и, в частности, тектонике формирования рифта Сьера-Лионе.

2.3. Структурно-тектоническое строение

На территории Гвинеи выделяются следующие структуры второго порядка (рисунок 2.15): I v Леоно-Либерийский щит, II – синеклиза Таудени, III – Западно-Гвинейская синеклиза, IV – прогибы Рокель-Вассари [31].

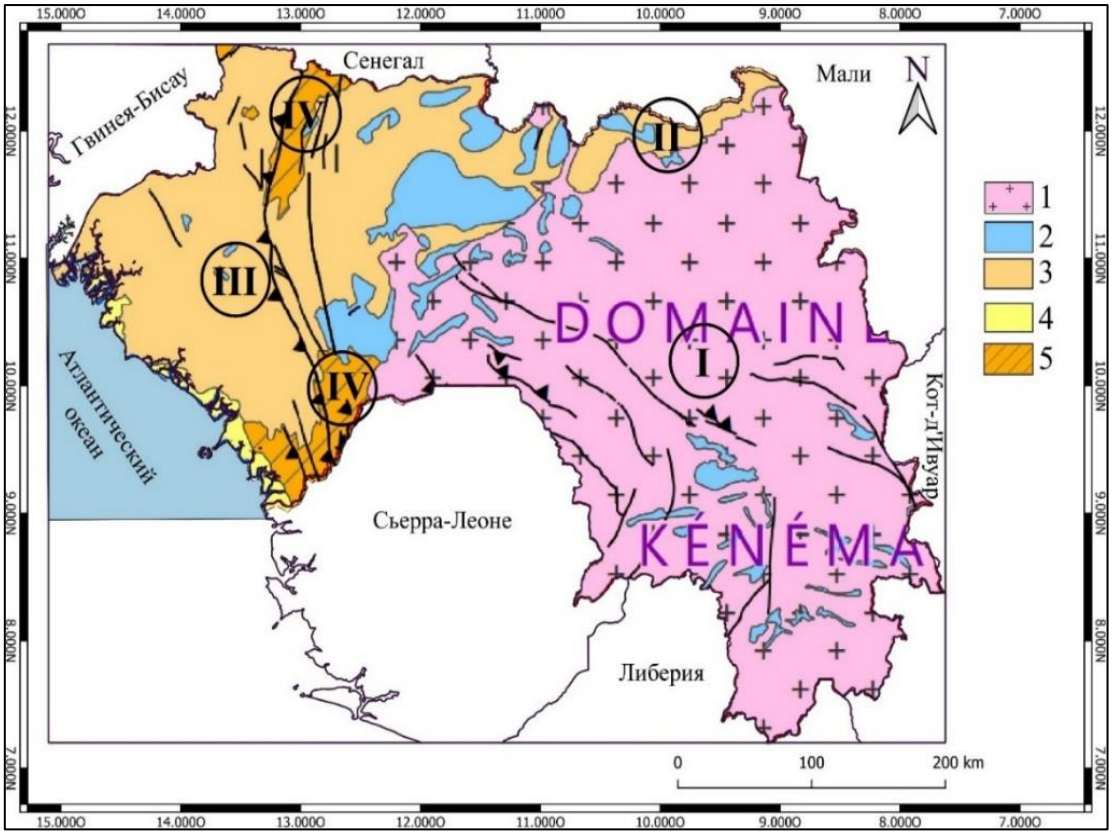


Рисунок 2.15. Тектоническая схема территории Гвинейской Республики [94]*: I — Леоно-Либерийский щит, архей и ранний протерозой: граниты, гранито-гнейсы и мигматиты. II – Синеклиза Таудени, III – Западно-Гвинейская синеклиза, кембрий: песчаники; ордовик: грубые кварцевые пески, гравелиты и конгломераты; девон и силур: алевро-аргиллиты, аргиллиты, известняки. IV – Прогибы Рокель-Бассари: осадочные, вулканогенно-осадочные и магматические образования панафриканского этапа тектоно-магматической активизации*

I. Леоно-Либерийский щит. Занимает восточную части территории Гвинеи характеризуется гетерогенным строением, обусловленным длительной и многоэтапной историей развития [31], включающей архейскую (раннего и позднего) и раннепротерозойскую стадии.

Архейский стадии – История тектонического развития в архее восстановлена при анализе разрезов серий Касила и Дабола [25]. Они представлены полиметаморфическими стратифицированными комплексами, которые располагаются в массивах более поздних гранитоидов, образуя в них отдельные, изолированные друг от друга реликтовые геологические тела различных размеров (от единиц до нескольких сотен квадратных километров) [31].

Полное исследование разрезе серии Кассила [9] показывает двухчленное строение. Основная нижняя часть разреза (Кисикисинская и Форекарийская свиты) сложена биотит-роговообманковыми кристаллическими сланцами; сменяющимися двухпироксеновыми гнейсами с прослоями железистых кварцитов. Верхняя часть разреза (Махерская и Кунсутинская свиты) представлена гранат-кордиерит-силлиманит-биотитовыми кристаллическими сланцами и гнейсами.

Раннепротерозойская стадия – характеризуется формированием прото-геосинклинальной системы Биррим, заложение которой сопровождалось дроблением архейского фундамента на ряд параллельных блоков. Опущенные блоки образованы вулканогенно-терригенными отложениями: мощными горизонтами гравелитов, конгломератов, чередованием граувакковых песчаников, сланцев, андезитов, базальтов, дацитов, риолиты и трахиты. Приподнятые блоки сложены гранито- гнейсами и гранодиоритами.

II. Синеклиза Таудени. Расположена на крайнем севере Леоно-Либерийского щита, являясь юго-западным флангом синеклизы. Она заполнена нижнерифейскими отложениями серии Сегу, прибрежно-морскими и дельтовыми фациями свиты Дабату, глинисто-карбонатными осадками свиты Бале. Эти отложения несогласно залегают на структурах фундамента.

III. Западно-Гвинейская синеклиза. Занимает центральную и юго-западную части страны и граничит с Леоно–Либерийским щитом. Отложения синеклизы образуют основную тектоническую структуру осадочного покрова Гвинеи, в пределах которой выделяются две седиментогенные структуры: впадина Туге и впадина Боэ [31]. В Тугской впадине были выделены четыре этапа седиментации. Начальный этап: накопление континентальных отложений серии Сегу; второй этап: формирование терригенно-карбонатные образования серии Мадина-Коута; третий этап: отложение глинистых осадков с прослоями мелкозернистых песчаников серии Унду; четвертый (кембрийский этап): образование серии Фалеме, сложенной глинистых отложениями, с горизонтом обломочных пород и тиллитов в основании.

Впадина Боэ заполнена палеозойскими терригенными отложениями свит Пита (ордовик), Телимеле (силур) и Фаро (девон), общей мощностью до 2000 м.

IV. Прогибы Рокель-Бассари. Пересекает центральную часть Гвинеи, и перекрыты отложениями платформенного покрова (ордовик), которые делят их структуру на две части: южную часть – прогиб Рокель и северную часть-прогиб Бассари, которые отличаются друг от друга сложностью своего геологического строения. В тектоническом плане структуры прогиба Бассари-Рокель развивались по зонам глубинных разломов. В целом, породы, заполняющие данную структуру, представлены терригенными и вулкано-терригенными отложениями: алевро-аргиллитами, песчаниками, кварцитами и серицит-хлоритовыми кремнезёмистыми сланцами. Максимальная суммарная мощность рассмотренных отложений в этом регионе оценивается в 4000 м [8].

Описанные выше структуры являют собой субстраты, на которых формируются коры выветривания. Однако важно подчеркнуть, что коры выветривания в Гвинее образуются не только в результате процесса выветривания, но и в результате фазы метасоматоза, которая следует за магматизмом, в результате чего формируются линейных кор выветривания глубиной более 100 метров.

Тектоническая активность в стране является одним из наиболее важных факторов развития коры выветривания. Она предопределяет формирование геологического строения рельефа, геоморфологические условия, а также формирование подземных вод.

2.4. Геологическое строение Гвинеи

Исследуемый район (Гвинейская Республика) расположен в сложной области сочленения крупных геологических структур, где можно выделить две крупные геологические структуры: фундаментные структуры африканской платформы, также известные как щиты, покрытые осадочным чехлом африканской платформы (рисунок 2.16) [31].

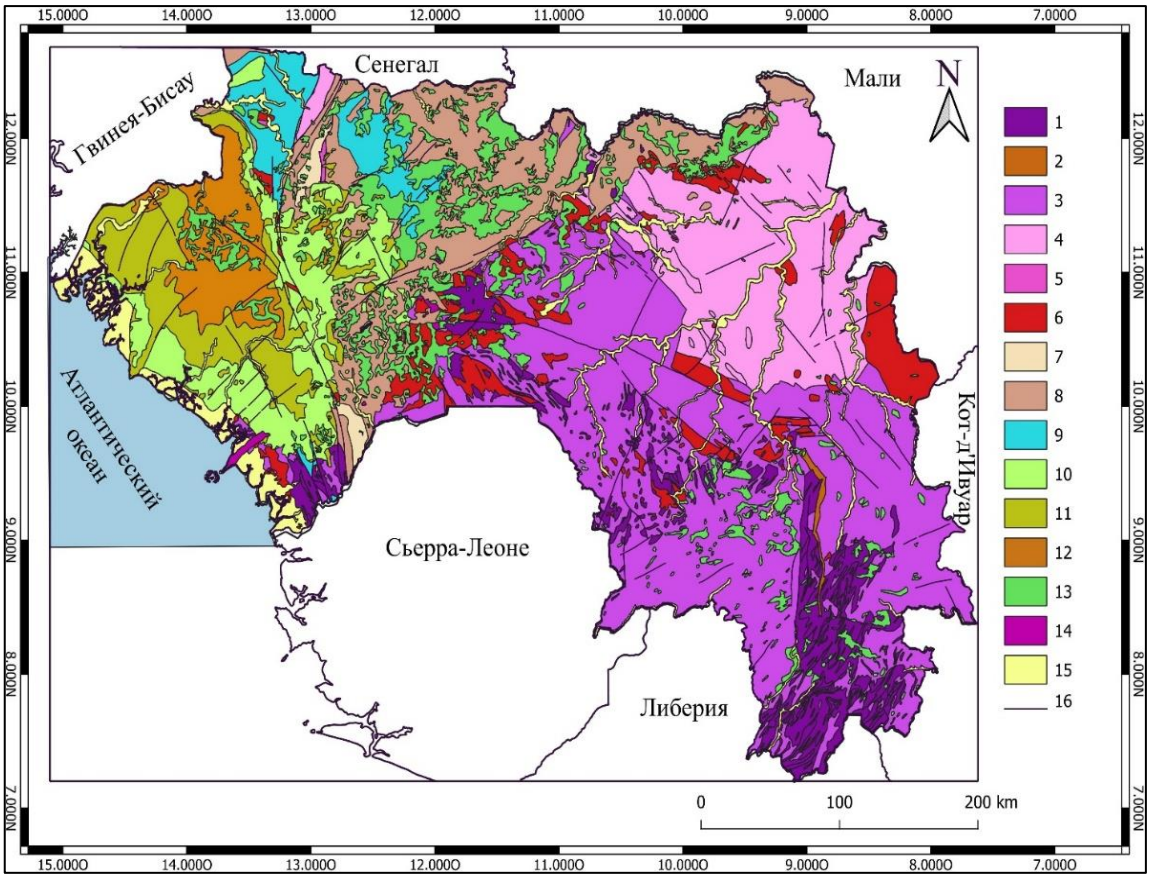


Рисунок 2.16. Геологическая карта Гвинейской Республики М 1: 500 000, по данным BRGM:

Условные обозначения

Нижний -Верхний архей (AR): 1 – гнейсы и кристаллические сланцы (группы Касила, Дабола, Камбуи и Мани).

Ранний протерозой (PR_1): 2 – серии Симанду, Монго и Нимба: Итабириты, железистые кварциты; 3 – нерасчленённый комплекс, гранито-гнейсы и мигматиты; 4 – Биримская группа: терригенно-вулканогенные образования – сланцы и филлиты; 5 – интрузии кислотного и основного состава: риолит и яшма; 6 – граниты и гранитоиды.

Верхний протерозой (PR_3): вулканогенно-осадочные отложения: 7 – базальтовые порфириты, туфы, лавовые брекчии; 8 – аргиллиты, песчаники, алевролиты, серицит-хлоритовые сланцы.

Палеозой (PZ): Осадочный чехол Африканской платформы: 9 – кембрий (Є) песчаники, конгломераты; 10 – ордовик (О)кварцевые песчаники; 11 – силур (S) аргиллиты, алевролиты; 12 – девон (D) аргиллиты, мелкозернистый песчаник и аргиллиты.
Мезозой (MZ): 13 – кимберлиты, долериты, диабазы, габбро; (14) – траппы: дуниты и нефелиновые сиениты.
Плиоцен – голоцен (N-Q): 15 – морские, аллювиальные отложения; 16 – разломы

Область развития структуры Леоно-Либерийский кристаллический массив

Фундамент Африканской платформы сложен породами архейского и нижнего протерозойского возрастов (рисунок 2.16–2.17).

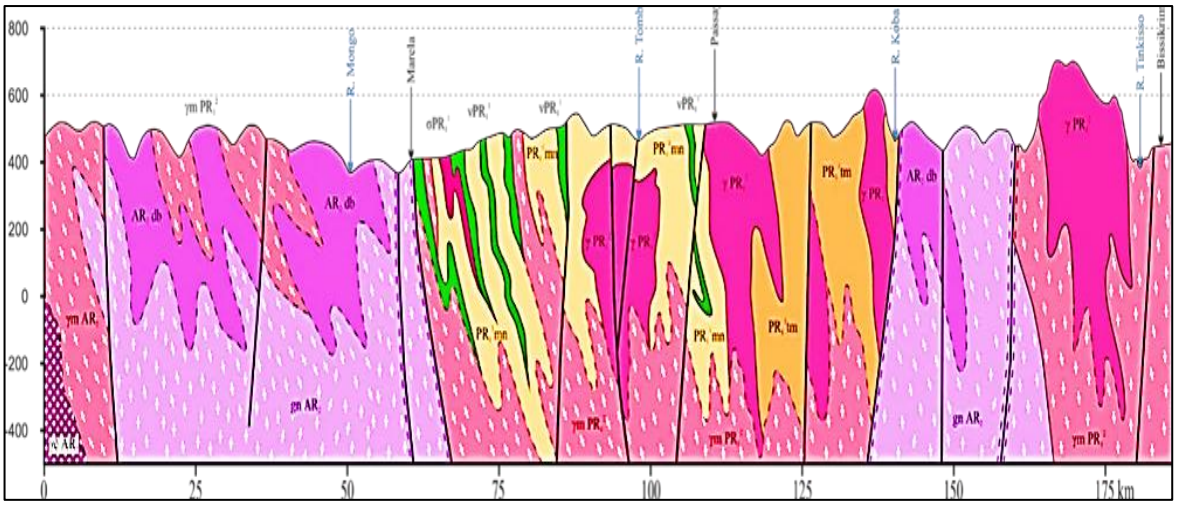


Рисунок 2.17. Геологический разрез Леоно-Либерийского кристаллического массива [31] *(условия обозначения в тексте)*

Архей (AR) представлена метаморфическими образованиями нижнего архея и палингенно-метасоматическими образованиями верхнего архея.

Ранний архей (AR1). Породы нижнеархейского возраста имеют ограниченное распространение и представлены метагаббро и ортогнейсами. Они выделяются вдоль северо-западного подножья горного массива Нимба (Nimba) в виде полосы шириной в несколько километров и протяженностью на гвинейской территории более 60 км [31].

Верхний архей (AR_2). Верхний архей состоит из полиметаморфических стратифицированных образований серий Кассила (Kassila), Дабола (Dabola), Камбуи (Kamboui) и Мани (Mani), в частности, амфиболитов, пироксенитов, гнейсов и кварцитовых сланцев. В некоторых случаях серии делятся на свиты из-за присутствия минералов, которые отличаются от основных и влияют на макроскопические характеристики пород.

По мнению авторов геологической съёмки Гвинеи, они образуют антиклинальную структуру Леоно-Либерийского щита.

Протерозой (PR) представлен образованиями нижнего и верхнего протерозоя.

Нижний протерозой (PR1). Породы нижнего протерозоя обнажаются на территории Гвинеи в виде рифта заполняют рифтами Монго (Mongo), Симанду (Simandou), Нимба (Nimba) и области накопления терригенно-вулканогенных осадков (Биррим), разделенных субвулканическими, интрузивными и палингенно-метасоматическими комплексами (таблица 2.1). Палингенно-метасоматическими образованиями возникшие в земной коре в результате совместного действия двух процессов: высокотемпературного замещения (метасоматоза) и плавления (палингенеза) горных пород.

В перечисленных структурах нижний протерозой представлены гнейсами со сланцами, итабиритами, кварцитами, зелеными сланцами, туфами, филлитами, гранито-гнейсами, мигматитами, гранитами и гранитоидами и т. д.

Область развития осадочного чехла Африканской платформы

В области осадочного покрова Африканской платформы отмечается распространение отложений верхнего протерозоя, палеозоя и кайнозоя. (рисунок 2.18).

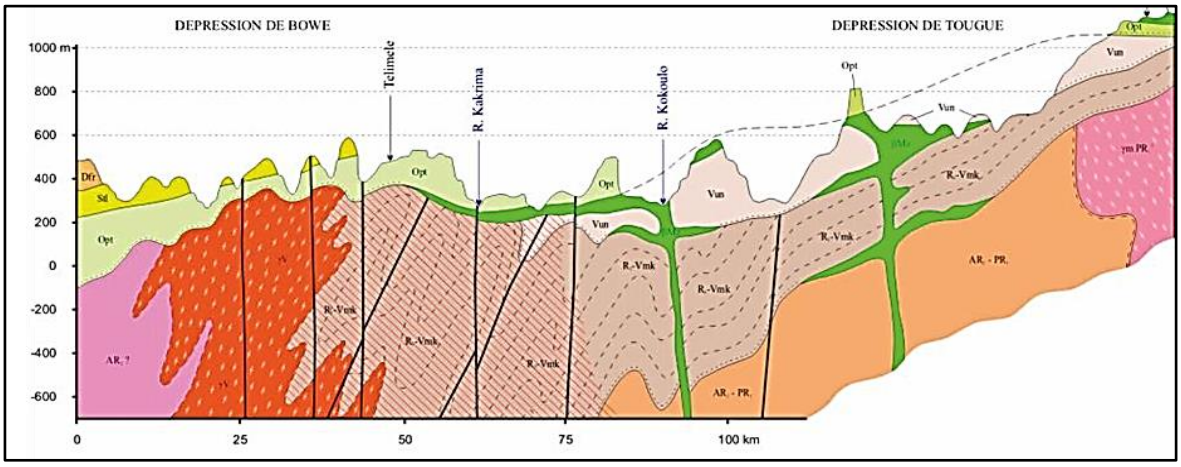


Рисунок 2.18. Геологический разрез осадочного чехла Леоно-Либерийского кристаллического массива [31] *(условия обозначения в тексте)*

Верхний протерозой (PR3). Верхний протерозой сложен терригенно-карбонатными отложениями: серия Madina – Kouta *(R3-Vmk)*, Oundou *(Vun)*, Сегу *(R1sg)* и представленные объединяет алевро-аргиллитами, песчаниками, серицит-хлоритовыми и карбонатными породами, перекрывающими гранито-гнейсы нижнего протерозоя.

Палеозойская эратема (Pz)

Палеозойская эратема представлена осадочными формациями кембрий, ордовик, силур и девон.

Кембрий (Є)

На территории Гвинеи они представлены двумя генетическими типами молассы.

Морская молосса серии Фалеме (Єfl) объединяет глинистые, алевритовые и песчано-карбонатные фации (аргиллиты, алевролиты, мелкозернистые песчаники и известняки),

накопившиеся в условиях мелководного морского бассейна. Континентальная молосса представлена грубообломочными породами серий Табан (Єtb) и Юкоунку (Єyk) (конгломератами, брекчиями и песчаниками), сформировавшимися в аллювиально-пролювиальных и дельтовых обстановках.

Отложения имеют широкое площадное развитие в пределах листов KEDOUGOU и LABÉ, залегая горизонтально или субгоризонтально; мощность отдельных горизонтов достигает 800 м и более [31].

Ордовик система – свита Pita (Opt)

Отложения свиты занимают западную и юго-западную части страны. Представлены толщей кварцевых песчаников, содержащих на разных стратиграфических уровнях линзы и горизонты кварцевых гравелитов и мелкогалечных конгломератов, а также прослои полевошпатно-кварцевых песчаников и в верхах разрезов – алевролитов. Мощность толщи изменчива, иногда достигая 1000м.

Силур система – свита Télimélé (Stl)

Силурийские отложения представлены свитой Télimélé (Stl), в составе которой преобладают алевро-аргиллиты с подчинёнными прослоями и линзами тонкозернистых кварцевых песчаников. Мощность свиты обнаруживает закономерное убывание с востока на запад: максимум (700–750 м) зафиксирован в горном массиве севернее водохранилища Grande Chute; в западном направлении она сокращается до 300–400 м, затем до 150–200 м и в районе эстуария Rio Komponi уменьшается до первых десятков метров [31]. Именно алевро-аргиллиты свиты Télimélé являются одним из основных субстратов бокситоносных кор выветривания Гвинеи.

Девон система – свита Faro (Dfr).

Девонские отложения объединены в свиту Faro (Dfr), которая представлена мелкозернистыми кварцевыми песчаниками с подчинёнными прослоями тонкоплитчатых плотных алевролитов (мощностью до 5 м), нередко ожелезнённых.

Свита выполняет центральную и западную части впадин Боуэ (BOWÉ) и Туге (TOUGUÉ) (см. рисунок 2.18), образуя плоские водораздельные поверхности бовалей Буагуме. Залегает на различных горизонтах свиты Телимеле, вероятно, с угловым несогласием и следами размыва; суммарная мощность достигает 450–470 м [31].

Мезозойская эратема (Mz)

Мезозойская эратема представлена трапповыми интрузиями и субвулканическими трубками и дайками кимберлитов, контролируемых системой трансформных глубинных разломов.

Трапповый магматизм, представленные различными разновидностями пород долеритового и габбро-долеритового ряда перидотитами, пироксенитами, гранодиоритами, гранофирами,

гранитами образуют многочисленные межпластовые согласные или полого секущие силлы и пластообразные тела в платформенных слоистых толщах впадин TOUGUÉ и BOWÉ. Их мощность изменяется от первых метров до 350–400 м, протяженность – сотни метров – десятки километров.

Кимберлитовый магматизм сосредоточен исключительно в юго-восточных регионах страны в форме субвулканические трубки и дайки. Наиболее многочисленны дайки субширотного простирания (85º). Они имеют протяженность до 1500 м и среднюю мощность около 1,5 м, а в раздувах – до 10–12 м. Все кимберлитовые трубки рассматриваемого района располагаются в узлах пересечения разломов северо-восточного и субширотного направлений. В большинстве случаев они имеют небольшие размеры и в плане характеризуются неправильно-изометричной или удлиненной формой.

Кайнозойская эратема (Kz)

Кайнозойские образования являются наиболее молодыми на территории Гвинеи. В прибрежной зоне они представлены неогеновыми прибрежно-морскими фациями и плейстоценовыми морскими террасами; на континенте — аллювиальными и аллювиально-озёрными накоплениями в речных долинах. Развитие кайнозоя ограничено, мощность отложений изменяется от нескольких метров до 48 м в зависимости от размеров депрессий.

В таблице 2.1 представлена стратиграфическая колонка пород территории Гвинеи, возраст пород от архея до голоцена, классифицирован по сериям и свитам.

Практически повсеместно коренные породы перекрыты латеритной корой выветривания. Подробная характеристика коры выветривания будет рассмотрена в разделе 3.

Коры выветривания представляют собой источник образования четвертичных отложений различных генетических типов: морских, аллювиальных, делювиальный, пролювиальный.

В составе четвертичных отложений Гвинеи аккумулируется обломочный материал, а также часть растворенных соединений, вынесенных из коры выветривания. Гранулометрический состав четвертичных отложений слагается из компонентов обломочного и дисперсного материала.

В целом история геологического развития Леоно-Либерийского массива обусловила весьма сложное геологическое строение, выраженное в широком спектре состава архейских и протерозойских пород: представленных кристаллическими сланцами, гранат-кордиерит-силлиманит-биотитовыми кристаллическими сланцами и гнейсами, биотит-роговообманковыми кристаллическими сланцами, гранито-гнейсами и гранодиоритами, прорванными дайками и перекрытыми траппами.

Разнообразие минерального состава отразилось на составе и физико-механических свойствах латеритных грунтов и их изменчивость в региональном плане.

Таблица 2.1. Стратиграфическая колонка пород Гвинеи

	Система (период)	Серия	Свиты	Возраст	Виды горных пород	Ссылки
ФУНДАМЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ АФРИКАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ЩИТА) ЛЕОНО-ЛИБЕРИЙСКИЙ ЩИТ	Нижний архей	-	-	AR_1	Ортогнейсы, метагаббро	[122, 123]
	Верхний архей	Кассила	Кисси-кисси	AR_2kk	Амфиболиты, пироксениты, гнейсовые и кварцитовые сланцы	[89, 121–123]
			Форекариа	AR_2fr		
			Махера	AR_2mh		
			Кунсута	AR_2kn		
		Дабола	-	AR_2db		
		Камбуи	-	AR_2cm		
		Мани	-	AR_2mn		
	Нижний протерозой	Монго	Монго	PR_1mn	Итабириты, железистые кварциты	[85, 86, 88, 95, 101]
			Тимбо	PR_1tm		
		Симанду	-	PR_1s		
		Нимба	-	PR_1n		
		Биррим	-	PR_1br	Терригенно-вулканогенные сланцы и филлиты	
		Ранне-протерозойские субвулканические, интрузивные и метасоматические комплексы	-	PR_1	Гранито-гнейсы и мигматиты	
			-	PR_1	Пост-орогенные граниты и гранитоиды, риолит, яшмы	
ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ АФРИКАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	Верхний протерозой	Мадина-Коута	Гадалуже	R_3-Vmk	Алевро-аргиллиты, песчаники, серицит-хлоритовые сланцы, известняки	[86]
			Каннта			
			Дира			
			Балефория			
		Оунду	Панампу	Vpn		
			Кубия	Vkb		
			Баня	Vbn		
		Сегу	Дабату	R_1db		
			Бале	R_1bl		
			Лекоро	R_1lk		
	Кембрий	Фалеме	-	Єfl	Песчаники, конгломераты	[31]
		Табан	Бофон	Єtb		
			Сансаньи			
			Басся			
		Юкоунку	Лумбу-Лумбито	Єyk		
			Батапа			
			Бунду			
	Ордовик	-	Пита	Opt	Кварцевые песчаники	
	Силур	-	Телимеле	S_{tl}	Аргиллиты, алевролиты	
	Девон	-	Фаро	D_{fr}	Алевролиты, аргиллиты, мелкозернистые песчаники	
	Мезозой	-	-	K	Кимберлиты, долериты, диабазы, дуниты, нефелиновые сиениты	[31, 76, 116]
	Плиоцен голоцен	-	-	Q	Морские и аллювиальные отложения	[31, 116]

2.5. Геоморфологические условия

Геоморфологические условия территории Гвинеи несут следы глобальных тектонических воздействия экваториального сегмента САХ – раскрытие рифта Сьерра Леоне.

В кайнозойский период сформировались основные морфоструктуры, определяющие современный облик рельефа Гвинеи: Приморская равнина, Плато Фута-Джаллон-Мандинго (Fouta Djalon- Mandingo), Гвинейская возвышенность, Внутренняя равнина (рисунок. 2.19).

Приморская равнина простирается между побережьем Атлантического океана и крутыми склонами плато Фута-Джаллон, высота равнины изменяется от 0 до 120 м. В основном она состоит из современных дельтовых образований, залегающих на палеозойские и архейские коренные породы.

Плато Фута-Джаллон–Мандинго (Fouta Djallon Mandingo) представляет собой наиболее сложно построенную морфоструктуру Гвинеи с отчётливым ярусным строением. Несколько уровней разного возраста с поверхностями выравнивания, отмечаемые на абс.отм. 225-275м, 350-375м, 450-550м, 600-800м, расчленены многочисленными речными долинами на отдельные горные массивы с плоскими вершинами и пологими склонами. Эта морфоструктура состоит из палеозойских (ордовик-девонских) и верхнепротерозойских песчаников и сланцев, прорванных интрузиями.

Гвинейская возвышенность представляет собой среднегорный регион с абс. отм. 800 - 1200м, с максимальными высотами хребтов Симанду (1656м) и Нимба (1752м). На юго-востоке возвышенность прорезана долинами рек Mongo, Ouaou, Doffe, Makona, Loffe, Diani. В геологическом строении региона преобладают архейско-протерозойские гранито-гнейсы, прорванные кимберлитовыми дайками и трубками. Массив покрыт густым лесным покровом.

Внутренняя эрозионно-денудационная равнина, с абсолютными высотами 380м - 490 м, расположена между морфо структурами Фута-Джаллон-Мандинго и Гвинейским плато. Наиболее широко распространены нижнепротерозойские терригенно-вулканогенные сланцы и филлиты серии Биррим. Эрозионная деятельность реки Нигер и ее многочисленных притоков обусловливает высокую скоростью эрозионного процесса.

На всей территории Гвинеи в генерализованном виде рельеф представлен сочетанием [31]:

- плоских, пологоволнистых и пологоступенчатых поверхностей, представляющих собою фрагменты разновозрастных выровненных поверхностей с различными абсолютными отметками от 100–120 м до 1450–1538 м; с запада на восток увеличивается количество ступеней и их абсолютные отметки;
- склонов, разделяющих эти поверхности, от относительно пологих (10–15º) до крутых и обрывистых;

- выровненных пространств нижних геоморфологических уровней, в которые врезаны долины рек и их притоков. При этом, с запада на восток, от приморской равнины к оси морфоструктуры Фута-Джаллон Мандинго, абсолютные отметки нижних геоморфологических уровней поднимаются от 70–100 м на западе в бассейнах Тингилинта (Tinguilinta) и Когон (Kogon) и до 500–700 м в центральной части Фута-Джаллон;
- собственно днища долин крупных рек, сложенных комплексом позднеплейстоценовых и голоценовых отложений.

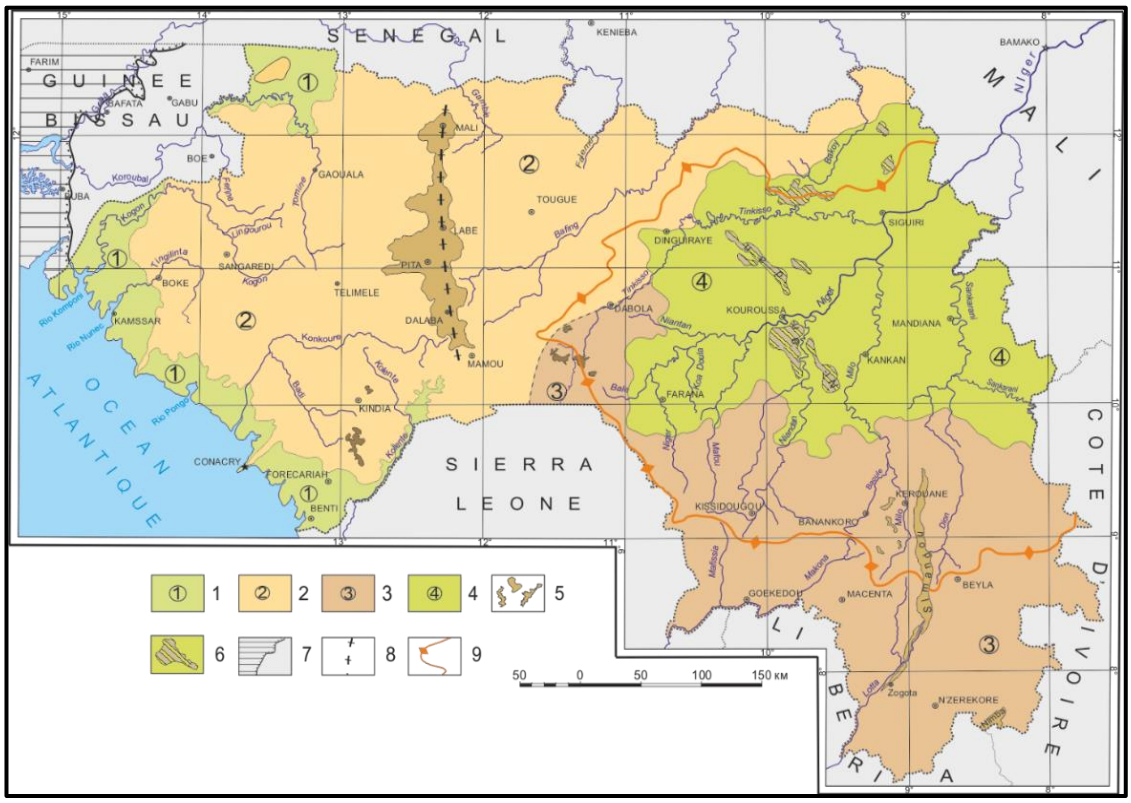


Рисунок 2.19. Карта геоморфологического районирования Гвинейской Республики [31]*: 1–4 – геоморфологические области: 1 – Приморская равнина, 2 – плато Фута Джаллон-Мандинго, 3 – Гвинейская возвышенность, 4 – Межгорная равнина; 5 – горные хребты абсолютными отметками > 1000 м, 6 – линейные возвышенности, массивы и останцы Внутренней равнины, 7 – Сенегало-Гвинейской периокеанической впадины, 8 – ось морфоструктуры Фута-Джаллон-Мандинго, 9 – ось водоразделов рек впадающих в Атлантический океан и водопритоков реки Нигер*

Характерной чертой рельефа территории Гвинеи является ярусность строение. Перманентные положительные движения, денудация и выветривание сформировали коры выветривания, мощностью от 30 до 150м, перекрывающие пенеплены или погребённые в опущенных частях под более молодыми аллювиальными (в долинах рек) и морских отложениями на побережье (таблице 2.2). Взаимосвязь между геоморфологическими особенностями и латеритными корами выветривания приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Геоморфология и кора выветривания Гвинеи

Геоморфология				Кора выветривания	
Морфология и морфометрия	**Возраст**	**Характер распространения**		**Условия залегания**	**Мощность КВ, м**
Высокие выровненные поверхности абс. отм. 1150–1200 м	Позднe-меловой	Фрагментарное	Плато Fouta Djalon-Mandingo, Гвинейская Возвышенность	*Площадная КВ* *Линейная КВ*	137 27 – 384
Африканская поверхность выравнивания абс. отм. 700–1100 м	Средне миоценовый	Широкое распространѐние	Плато Fouta Djalon-Mandingo, Гвинейская Возвышенность,	*Площадная КВ* *Линейная КВ*	79 23 – 146
Нижняя выровненная поверхность абс. отм. 260–280 м	Средний плейстоцен	На склонах речных долин	Гвинейская Возвышенность, Плато Fouta Djalon	*Педименты КВ*	31 15 – 72
Высокая терраса р. Milo абс. отм. 640–720 м	Плиоцен	Плоские поверхности, расчлененные эрозионными врезами водотоков	Долины рек Tinkisso, Milo и др.	*Переотложенная КВ.* Галька идеально окатанная, кварцевого (60–70%) состава, покрытая железистой рубашкой; мощность 6-8м	
II-ые террасы долин рек абс. отм. 20–25 м	Средний плейстоцен	Фрагментарно: прерывистые полосы шириной 300–1500 м, по бортам долин рек	Долины рек Tinkisso, Milo и др.	*Погребённая КВ.* Перекрыта мелким обломочный аллювием, мощностью 5 –7 м, представленным кварцем и латеритом. Кровля сцементирована гидроокислами железа с образованием кирасы, мощностью 1,0–1,25 м	
I-ые надпойменные террасы высотой абс. отм. 8–10 м	Поздний плейстоцен	Непрерывные полосы вдоль русел рек; ширина террас 400м, крупных - первые км	Долины рек Tinkisso, Milo и др.	*Переотложенная КВ.* Супеси и суглинки, с большим количеством латеритного обломочного материала, закономерно увеличивающимся вверх по разрезу, мощность 4–10 м	
II морская Терраса абс. отм. 10–30 м	Средний плейстоцен	Повсеместно	Приморская равнина	*Площадная КВ.* С поверхности породы латеритизированы и бронированы кирасой средней степени твердости. Мощность 2,5м	
Мангровые побережья и пляж абс. отм. 0–10 м	Голоцен	Полосы мангр шириной 6–8 км, пляжей, разделенные эстуариями рек	Приморская равнина	Погребённая КВ. Перекрыта морскими песками кварцевыми, с обломками кирасы. Мощность 25 м	

2.6. Гидрогеологические условия

Недавняя работа по прогнозу продуктивности водоносных горизонтов в регионе ЭКОВАС [94] показали, что на территории Гвинеи два (2) типа подземных вод, которые включают четыре водоносных горизонтов (таблица 2.3).

Водовмещающие комплексы аллювиальные, морские.

Воды аллювиального водоносного горизонта залегают в поровом пространстве рыхлых отложений при наличии свободной поверхности и характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью. Фильтрационные свойства водовмещающих пород непосредственно определяются их литологическим составом и мощностью: грубозернистые пески и гравийно-галечные отложения обладают высокой водопроницаемостью и значительными ресурсами, тогда как тонкодисперсные разности (супеси, мелкозернистые пески) существенно ограничивают водообмен и ёмкость водоносного горизонта. Дебит скважин может колебаться в зависимости от сезона и количества осадков, иногда превышает 10 л/с.

Водовмещающие комплексы магматические породы

Водоносный горизонт магматических пород относится к трещинным водам, образовавшимся в траппах и кимберлитовых интрузивных породах. Грунтовые воды, вероятно, присутствуют в основном на верхних нескольких десятках метров. Общая продуктивность водоносного горизонта будет в значительной степени зависеть от степени и типа трещин горных пород.

Водовмещающие комплексы осадочные породы

В западной части страны обнажены осадочные породы, в которых преобладают алевро-аргиллиты и песчаники, с конгломератами в кембрии. По их литологической характеристике сток грунтовых вод в основном происходит в трещинах, расположенных на верхних нескольких десятках метров породы. Если трещины особенно хорошо развиты, водоносные горизонты могут иметь умеренную продуктивность от 2 до 10 л/с.

Водовмещающие комплексы кристаллических пород

Подземные воды кристаллических пород фундамента относятся в трещинах гранитных, гнейсовых и других пород. Обычно они образуются на глубине нескольких десятков метров и в трещинах диаметром от нескольких десятков до сотен метров, в которых продуктивность водоносных горизонтов может составлять 0,1–2 л/с.

Таблица 2.3. Потенциал подземных вод Гвинейской Республики [94]

Водовмещающие комплексы		**Тип вод**	**Дебит, л/с**
Возраст/генезис	Состав		
Голоцен, аллювиальные, морские	Пески, гравий галька	Поровые	> 10
Мезозой, магматические породы	Долериты, габбро	Трещинные	0,5-2
Осадочные, Девон – Силур – Ордовик – кембрий	Аргиллиты. Алевролит песчаники	Трещинные	2-10
Архей-протерозой	Граниты гнейсы кварциты сланцы	Трещинные	0,1-2

Водоносный горизонт коры выветривания.

В пределах коры выветривания формируются рыхлые, дресвяные и пористые грунты, обычно называемые – дисперсной зоной. В сезон дождей в этой зоне образуются водоносные горизонты. Инфильтрация дождевых вод происходит через трещины и менее прочные участки коры, пополняя глубокие горизонты и вызывая повышение уровня грунтовых вод.

Гидрогеологические буровые работы, проведенные в нескольких муниципалитетах региона Боке, позволили выявить колебания уровня воды в коре выветривания. Результаты приведены в таблице 2.4. Уровень подземных вод, измеренный в мае-июне, очень близок к поверхности (3 м). Напротив, в сухой период уровень опускается до 41 м (в марте-апреле).

Колебания статического уровня в латеритной коре выветривания, в зависимости от минералогического состава пород (наличия железа или алюминия), могут влиять на химический состав воды, делая её иногда кислой или богатой металлами, а также определяют дебит скважин в латеритных корах выветривания.

Подземные воды содержат железо, концентрация которого зависит от минералов, встречающихся в пройденных породах.

Значительные колебания режима подземных вод в этот период, латеритные коры выветривания подвержены изменениям, которые отражаются на их составе, внутренней структуре и механико-химических свойствах.

Таблица 2.4. Изменение уровня грунтовых вод в коре выветривания

Дата	Глубина залегания уровня грунтовых вод, м		Минерализация грунтовых вод, мг/л	
	мин.	макс.	минимальная	максимальная
Январь - февраль	7	37	0,20	0,45
Март - апрель	6	41	0,02	0,44
Май – июнь	3	34	0,01	1,59
Ноябрь – декабрь	5	28	0,01	0,45

Одним из важнейших компонентов инженерно-геологического условий являются эндогенные и экзогенные процессы. На территории Гвинейской Республики проявления геологических процессов обусловлены её геолого-структурными, геоморфологическими особенностями, а также совокупной активностью поверхностных вод (рек и ручьев) и подземных вод.

На исследуемой территории проявляются: землетрясения, абразивные, эрозионные процессы, оползни, заболачивание, наводнения - подтопление, современное выветривание и латеритный карст.

Подробно информация о процессах будет рассмотрена в главах 3, 5.

Выводы

Все инженерно-геологические компоненты территории Гвинейской Республики создают совокупность благоприятных условий для формирования латеритных кор выветривания.

1. Геологическое строение Гвинейской Республики достаточно сложное. Крупные геологические структуры сложены породами, возраст которых варьируется от докембрия до голоцена. Тектоническая эволюция и развитие структурных элементов (разломов) вызвали смещения в горных породах, сформировав блоковое строение, которые отражаются в современном рельефе. Этот структурный каркас в сочетании с минеральным разнообразием материнских пород определяет формирование и распределение латеритных кор выветривания.

2. Спрединг Африканской и Южно-Американской плит (формирование САХ) оказал определяющее влияние значительное влияние на континентальную часть Африки.

3. Геотектоника привела к дискретности Леоно-Либерийского массива, испещренного крупными, в том числе трансформными разломами, дифференцированным разнонаправленным блоковым перемещениям, создала высокую проницаемость массива, огромную удельную поверхность взаимодействия с агентами выветривания, способствовала формированию латеритных кор выветривания.

4. Разнообразие рельефа в Гвинейской Республике оказывает существенное влияние на образование латеритов, поскольку регулирует распределение осадков, которые влияют на интенсивности процесса выветривания.

5. Устойчивый тропический климат, сохраняющийся в Западной Африке с мезозоя по настоящее время, привёл к почти повсеместному распространению латеритных кор выветривания на территории Гвинейской Республики.

6. Широкое распространение коры выветривания требует детальных инженерно-геологических исследований формирования пространственной изменчивости строения ЛКВ, состава и физико-механических свойств слагающих их грунтов.

Глава 3. Формация латеритная кора выветривания экваториальных стран

3.1. Современное представление о латеритных корах выветривания и их влиянии на инженерно-геологические условия территории экваториальной Африки

Латеритные коры выветривания (ЛКВ) приурочены к тропическому поясу планеты, охватывая субэкваториальные и экваториальные регионы Африки, Южной и Юго-Восточной Азии, а также Центральной и Южной Америки (рисунок 3.1). Они покрывают обширные плато и пенепленизированные поверхности, образуя мощные горизонты — от первых метров до 100 м и более. Возраст латеритной формации охватывает широкий диапазон: от мелового периода до современности, что свидетельствует о многоэтапности процессов выветривания в этих регионах.

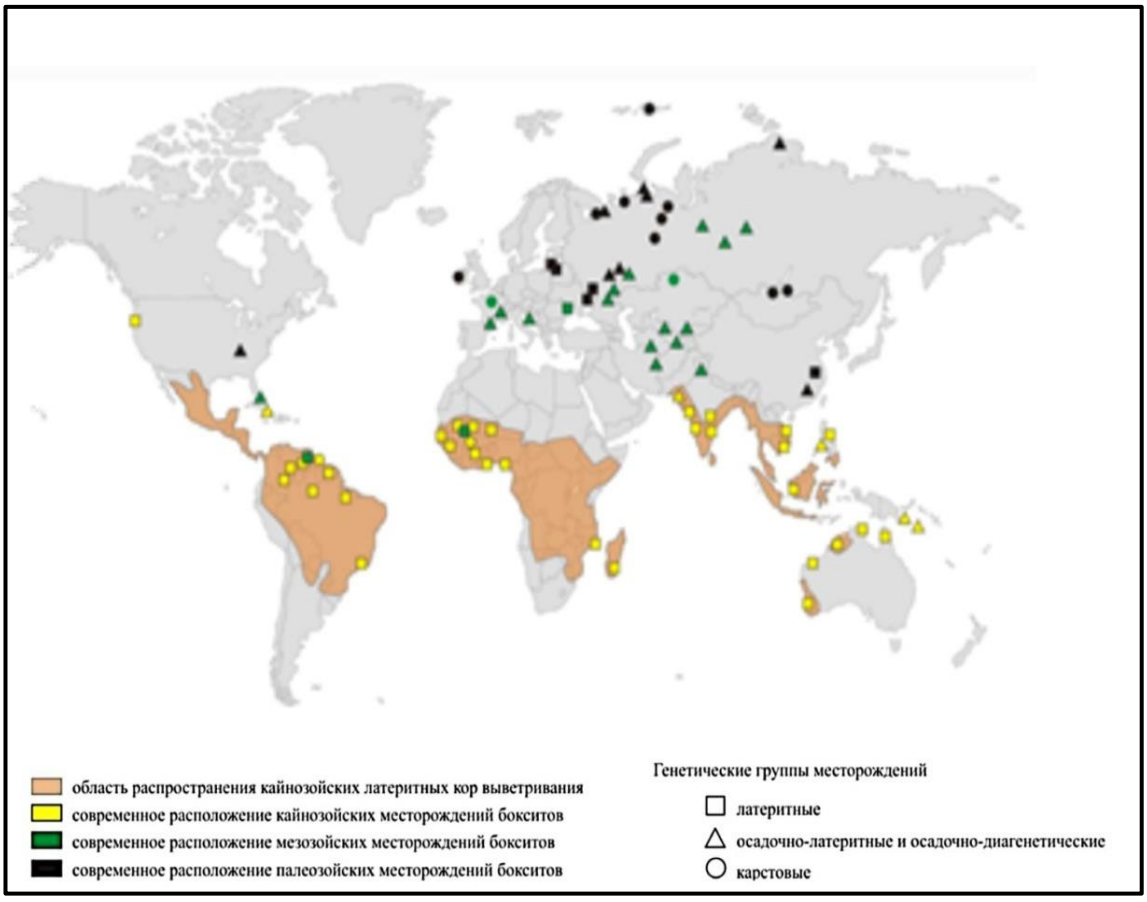


Рисунок 3.1. Область распространения латеритных и бокситоносных кор выветривания

Термин "латерит" впервые введён в научную литературу английским геологом Ф. Бьюкененом в 1807 году для обозначения красноцветных железистых пород коры выветривания Индии [75, 97, 103]. Бьюкенен описал латерит как «материал, имеющий вид железистого отложения, в свежем виде его можно разрезать на обычные блоки с помощью металлических инструментов. При воздействии воздуха он быстро затвердевает и замечательно противостоит погодным воздействиям» [120]. Более 1000 лет латерит использовался в качестве строительного

материала и ранее назывался «кирпичной землёй». Таким образом, название «латерит» (с латинского «later») означает кирпич.

Процесс выветривания изучается в различных аспектах. Его исследуют геологи, геохимики, географы, геоморфологи, почвоведы и инженеры-геологи. Многоаспектный интерес к ЛКВ Африканского континента определяется тремя группами практических задач [21]. Первая — поиск и оценка рудных месторождений: бокситовых, железорудных (итабириты), марганцевых, никелевых и титановых; вторая — реконструкция истории геоморфологического развития Африки через хронологию поверхностей выравнивания; третья — использование латеритных кор выветривания в качестве основания различных типов сооружений и строительных материалов.

Учение о коре выветривания (КВ) оформилось в самостоятельный раздел геологии в первой половине 20 века. Уже в XX веке изучению процесса выветривания большое внимание уделяли отечественными учеными Е. Ферсман, В.И. Вернадский, Б.Б. Полынов (1934) [38], Н.М. Страхов (1960) [53], И.И. Гинзбург (1946, 1957, 1958) [12–14], А.И. Перельман (1955) [37]. Основоположником этого направления является Борис Борисович Полынов**,** установивший миграционную подвижность элементов в зоне гипергенеза, определяющую степень устойчивости различных минералов к процессу выветривания [38, 39]. Концепция Б.Б. Полынова легла в основу дальнейших исследований многих последователей: Пустовалов Л.В. (1940), Петров В.П. (1948, 1962), Швецов М.С (1958), Гинзбург И.И. (1926, 1957, 1958), Страхов Н.М. (1960), Разумова В.Н. (1963, 1967, 1977), Н.П. Херасков (1963, 1964, 1965), Фролов В.Т. (1965-1992), Шанцер Е.В. (1966), Рухин Л.Б (1968), Лисицына Н.А (1973), Б.Д. Львов (1974-1989), Новиков В.М. (2000, 2005), Леонов М.Г. (2008, 2019). В этот же временной отрезок можно упомянуть имена зарубежных ученых, таких как Richthofen (1860), Oldham (1893), Bauer (1898), Chautard et Lemoine (1908), Arsandeaux (1909), Vanbemelen (1910), Fermor (1911), Harrison (1910-11), Lacroix (1913), Holmes (1914), Maignien (1950-66) и др.

Основываясь на данных исследований, можно сделать вывод, что латеритная кора выветривания является результатом непрерывного и сложного процесса, обусловленного рядом факторов [40, 43, 49], которые эволюционируют и трансформируются в геологическом масштабе.

Проблема изучения процесса выветривания является одной из важнейших в инженерной геологии. Н.В. Коломенским – основоположником изучения процесса выветривания в инженерной геологии (1949, 1952) [21], Г.С. Золотаревым (1948, 1963) [19], Г.К. Бондариком (1963) [7], Э.А. Джавахишвили (1967) [16], В.Б. Швецом (1970г.) [62], В.Д. Ломтадзе (1971) [28], Л.А. Ярг (1974,1987) [64, 65], предложены схемы расчленения коры выветривания на зоны в инженерно-геологических целях.

Вопросы закономерности распространения кор выветривания, а также оценки степени и скорости процесса выветривания горных пород освещены в трудах Н.В. Коломенского и С.В.

Дроздовым (1956), Е.М. Сергеева и З.К. Барановой (1959), А. Хэмрола (1961), П. Н. Панюкова (1962), С.Д. Воронкевича (1963), В.Б. Швеца (1964, 1970), Г.С. Золотарева (1957, 1969), Ю.Д. Матвеева (1970), Л.А. Ярг (1991), C. D. Ollier (1969), M. D. A. Thomas (1974), S. M. Hill (2000), R. A. Eggleton (2001), P. Migon (2004), А. И. Латыпова (2024) и др.

Проблема формирования состава, структурно-текстурных особенностей и свойств пород в процессе выветривания отражена в публикациях Ф.П. Саваренского (1939), Н.В. Коломенского (1968), Г.С. Золотарева (1981), В.Д. Ломтадзе (1986), Н.Н. Маслова (1982), Е.Г. Чаповского (1975), Г.К. Бондарика (1963), В.Б. Швеца (1993), Молоков (1985), Ю.Д Матвеева (1970), Л.А. Ярг (1987, 1991), Г.М Арешидзе, Э.А. Джавахишвили (1969), А.М. Коне (2012), А.Г Барановского (2015), Илаловой Р.К. (2019), Абатуровой И.В. (2022), Латыпова А.И. (2024).

Наиболее ранними публикациями, посвящёнными латеритной коре выветривания Гвинеи, являются работы Ж. Шотара (J. Chautard, 1908) и А. Лакруа (A. Lacroix, 1913) в которых рассматривается роль рельефа в формировании латеритов Гвинеи, работы Л. О Фрэре (L. Au Frère), Э. Шетелат (E. Chételat, 1938), Р. Голубинова (1938), Сабота (Sabot, 1953), Пешиней-Сарепа (Pechiney-Sarepa, 1957–1961), Р. Майнье (R. Maignien, 1950–58), которые стали ценными основами для изучения процесса выветривания в тропических странах. Из современных исследований геологии Гвинеи следует отметить труды А. Ф. Грачёва (1973), Ю. П. Селиверстова (1978), Михайлова Б. М. (1981), Diallo et al. (2023); Serrano, Oteo (2022), Traoré et al. (2024). Наиболее значимой является выпущенная в 2011 году книга «Геология Гвинейской Республики» (Владимир Ибрагимович Мамедов, Ю. В Буфеев, Ю. А. Никитин).

Автор в своей работе опирался на результаты геологических исследований этих авторов.

Несмотря на широкий спектр геологических исследований, инженерно-геологические условия Гвинее изучены крайне слабо. Только с 1960-х годов были проведены первые инженерно-геологические изыскания в рамках нескольких проектов: Г.К. Бондарик (1963), С. И. Скиба (1979). М. А. Солодухин (1982), С.В. Кузин (2013, 2014).

В последние годы в Гвинейской Республике наблюдается значительный рост строительства и реконструкции базовой инфраструктуры, таких как международный аэропорт Конакри, гидроэлектростанции Суапити, Амария, Кукутамба и Фоми, модернизация крупнейшего морского порта Гвинеи– Камсар, национальной автомагистрали Гвинеи, инфраструктуры передачи и распределения электроэнергии и других жизненно важных систем. Этот динамичный процесс требует проведения локальных и региональных инженерно-геологических исследований латеритной коры выветривания на территории Гвинеи, поскольку глубина заложения, фундаментов наземных сооружений, конфигурация и углы заложения откосов и карьеров зависят от состава и свойств латеритных грунтов.

Специфика инженерно-геологического изучения процесса выветривания состоит в необходимости количественной оценке свойств, степени и скорости выветривания различных пород. К сожалению, сложный механизм формирования физико-механических свойств латеритов еще недостаточно изучен.

В условиях ускоренной урбанизации Гвинейской Республики задачами инженерно-геологического исследования является разработка региональных исследований и прикладных аспектов инженерной геологии, создание инженерно-геологических карт, в том числе карты распространения латеритной коры выветривания.

3.2. Пространственное распространение коры выветривание Гвинеи

Среди всех континентов наибольшие площади латеритных КВ расположены в экваториальной Африке, характеризующейся совокупностью благоприятных условий образования КВ: приуроченностью к глобальным эпохам выветривания с тропическим климатом, активной геодинамикой с преобладающими положительными движениями и блоковыми перемещения в массиве, создавшими дискретность литосферы, высокую проницаемость массива пород и обширную удельная поверхность взаимодействия пород с внешними средами**.** В Гвинее грунты ЛКВ имеют практически повсеместное распространение, они покрывают поверхности выравнивания, но также обнаружены на склонах и террасах рек.

В настоящее время не существует карты, иллюстрирующей масштаб пространственного распределения латеритной коры в Гвинее. Однако, схематическая карта распространения бокситов на территории Гвинеи (рисунке. 3.2) даёт представление о региональном распределении латеритной коры выветривания на территории страны.

Особенностью формирования латеритной коры выветривания Гвинеи является то, что климатические, тектонические, геоморфологические и геологические условия мезо-кайнозоя и их благоприятное сочетание способствовали образованию крупнейшей в мире бокситовой провинции в этом регионе (в т.ч. Кот-д’Ивуар, Сьерра Леоне, Гана, Гвинея Бисау). По запасам бокситов страна занимает первое место в мире, на ее долю приходится 40% мировых запасов [31].

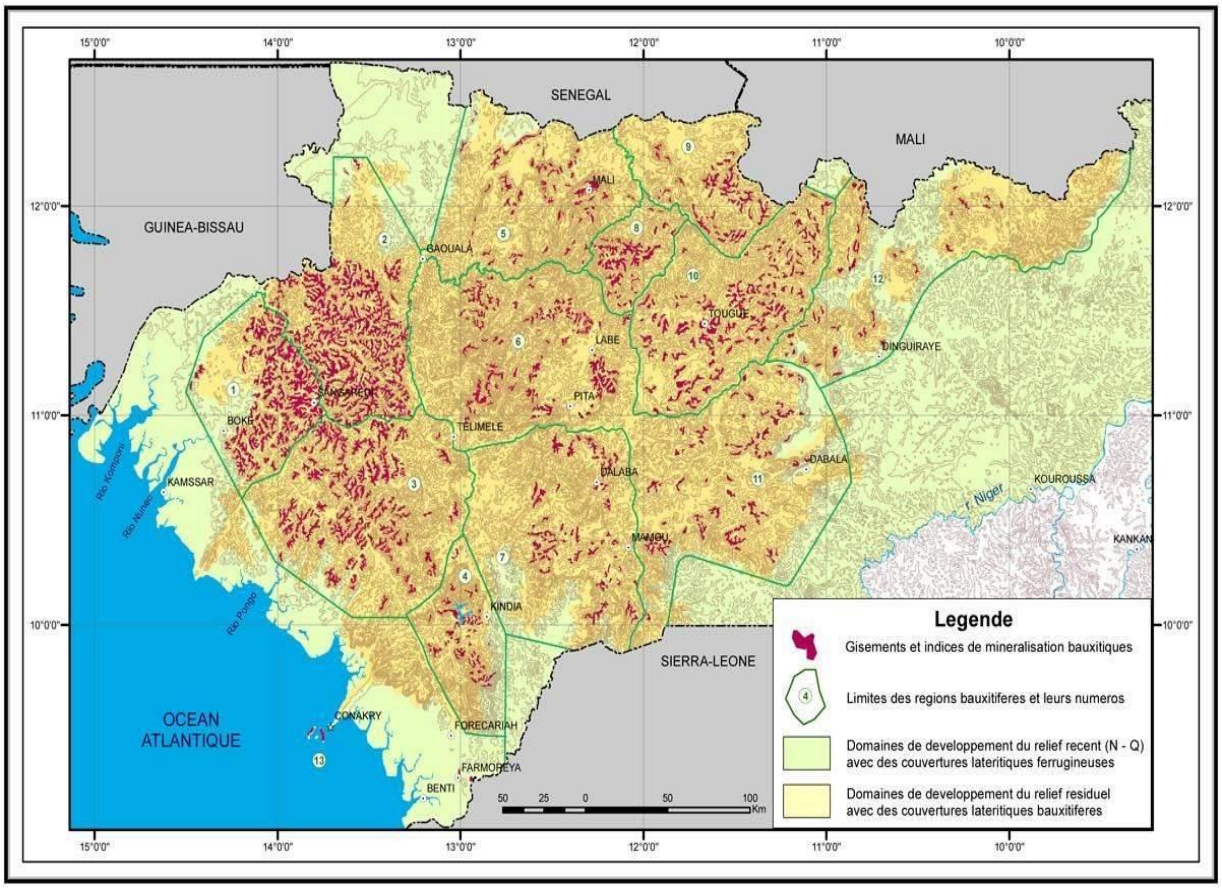


Рисунок 3. 2. Карта распространения бокситоносных коры выветривания на территории Гвинейской Республики [31]

На основе систематизированного обобщения данных установлено, что площадная латеритная кора выветривания в Гвинее практически развита повсеместно, на всех типах горных пород и рельефах различных возрастов.

Высокая степень сохранности древних поверхностей объясняется, в первую очередь, особенностями тектонического развития и рельефа Африканской платформы. Процессы химического и биохимического преобразования горных пород развивались на одних и тех же выровненных поверхностях в течение миллионов лет, в условиях субтропического климата, не изменявшего общей направленности процессов.

Возраст некоторых латеритов изменяется десятками миллионов лет, соответствуя возрасту поверхностей выравнивания (рисунок 3.3), которые они бронируют, дополнительно способствуя их консервации.

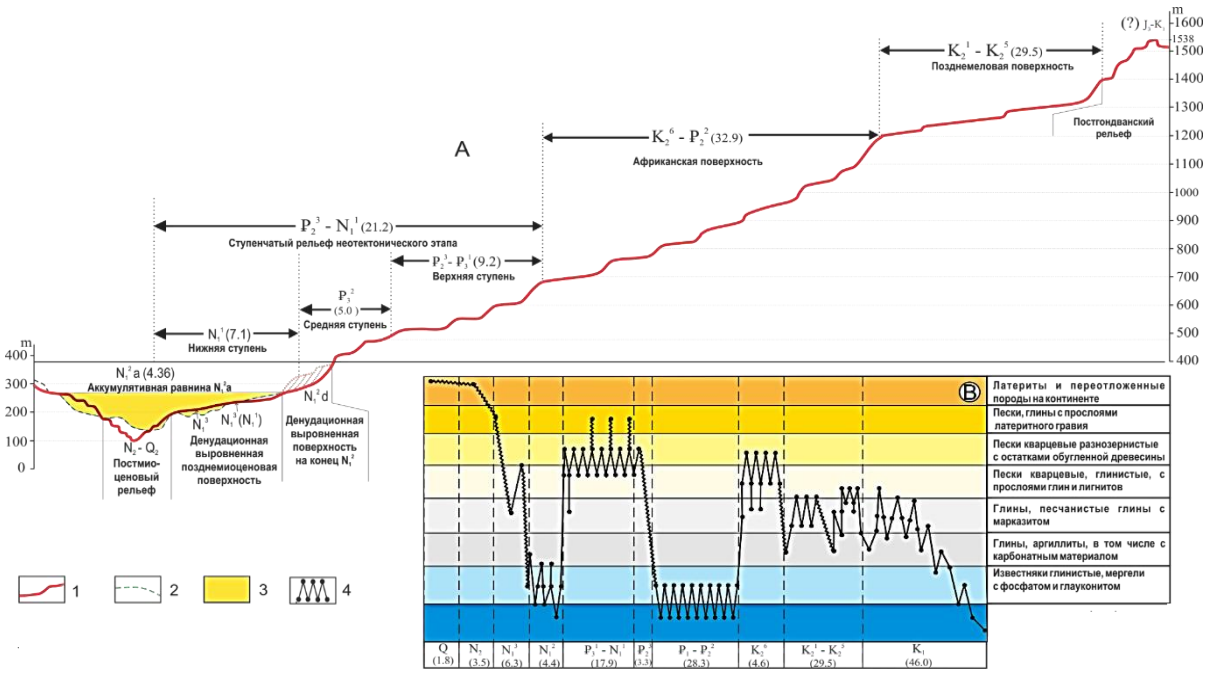


Рисунок 3.3. Схема геоморфологического развития морфоструктур Фута Джалона [31]*: 1 – контур современного рельефа; 2 – контур рельефа на конец N_3^1; 3 – аллювиальные отложения среднего миоцена; 4 – литологические типы разных возрастных подразделений*

Мощность ЛКВ Гвинеи варьируется в зависимости от морфологии поверхности (рельефа) от 80 до 90 метров [31], достигая 150 метров и более (таблица 3.1). На участках, контролируемых разломами, наблюдается существенное увеличение мощности до сотен метров (линейные КВ).

Таблица 3.1. Поверхности выравнивания и мощности латеритной коры выветривания Гвинеи [31]

Геоморфологический уровень рельефа	**Кол-во скважин с КВ**	**Абс.отм устьев скважин, м**	**Мощность КВ, м <u>средняя</u>, размах значений**
Плиоценранне плейстоценовый	16	500 – 647	<u>31</u> 15,3 – 72,3
Поздне миоценовый	48	656 – 807	<u>65</u> 14 – 143
Средне миоценовый	44	840 – 900	<u>79</u> 23 – 146
Олигоцен-раннемиоценовый и палеоцен-среднеэоценовый	70	1000–1300	<u>137</u> 27 – 384

Поднятые древние поверхности выравнивания разбиты глубокими ущельями на отдельные плато подвергались денудации по периферии и постепенно уменьшались по площади (рисунок 3.4).

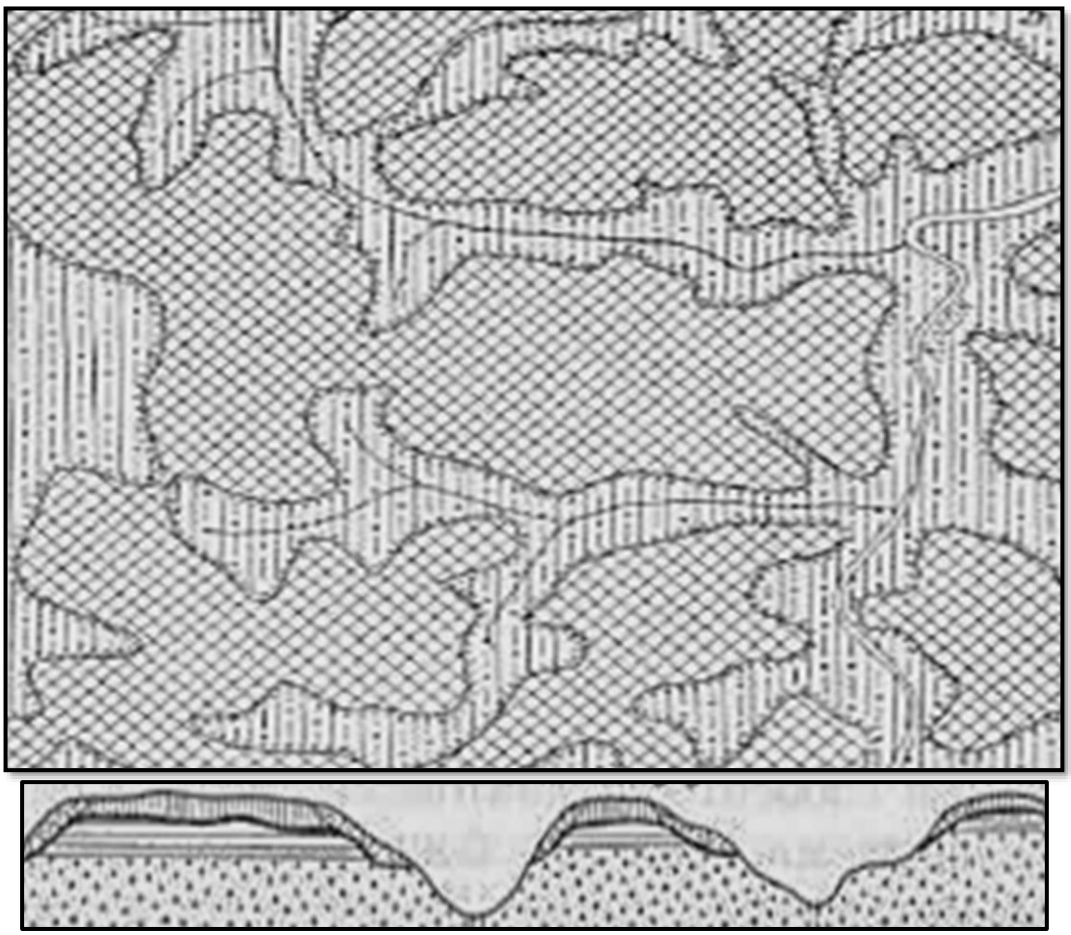


Рисунок 3.4. Фрагмент схемы расположения бокситоносной коры выветривания на месторождении Боке, Гвинея (по данным М.В. Дубовского)

Дальнейшие инженерно-геологические исследования требуют изучения вопросов: о закономерностях распространения латеритной коры выветривания на территории Гвинеи, инженерно-геологической зональности строения коры выветривания, особенностей состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств КВ на разнообразном субстрате и современных тенденций развития процессов в КВ.

Многочисленные исследования подтверждают, что закономерности изменчивости состава и физико-механических свойств грунтов определяются условиями их формирования и существования, и связаны с палеогеографической обстановкой изучаемой территории.

3.3. Условия и причины формирования кора выветривание Гвинеи

Развитие процесса выветривания определяется совокупностью региональных, зональных и техногенных факторов (рисунок 3.5) [64].

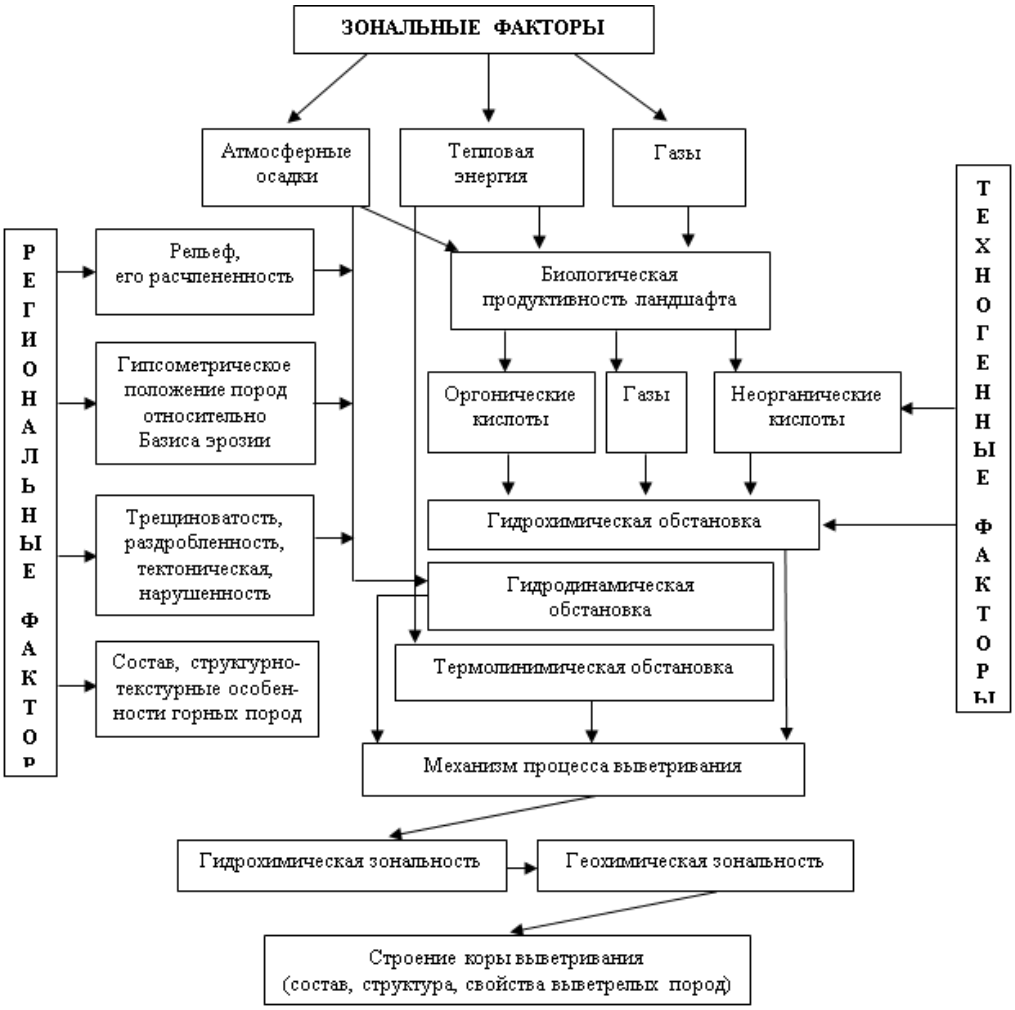


Рисунок 3.5. Схема взаимодействия зональных, региональных и техногенных факторов при формировании коры выветривания [64]

Зональные факторы. К числу основных компонентов внешних сред, активно реагирующих с горными породами в процессе выветривания, относятся зональные факторы: солнечное излучение; атмосферные осадки, химический состав которых может варьировать в широких пределах от сильно кислых до щелочных; кислород и углекислый газ атмосферы; растительность, усиливающая агрессивность атмосферных осадков при их прохождении через крону различных пород деревьев; почвы, увеличивающие pH инфильтрующихся вод за счет катионного обмена и углекислого газа почвенного воздуха; микроорганизмы, продуцирующие множество органических кислот, поступающих в поверхностные и почвенные воды [64].

Тропический климат Гвинеи определяет количество воды, поступающей в зону гипергенеза, ее температуру и химический состав, гидрогеохимические условия в зоне выветривания [64]. Повышенный температурный режим (от 25 °С до 30 °С) и атмосферные осадки (до 3500 мм/год),

лесной опад (300-500 ц/га) и почвы увеличивают pH 4-5,5, инфильтрующихся вод за счет катионного обмена и углекислого газа почвенного воздуха; микроорганизмы, обогащают органическими и неорганическими кислотами почвенные воды, поступающую в зону гипергенеза и способствуют интенсивному развитию химических и биохимических процессов выветривания [15].

Биологическая продуктивность ландшафта. Важная роль биогенного фактора в процессе выветривания стала неоспоримым фактом после выхода в свет в 2004 г. коллективная монография российских геологов «Биоморфные структуры бокситов»[63]. Электронно-микроскопические исследования бокситоносного профиля месторождения Леоно-Либерийского щита (рисунок. 3.6) доказывает, что «латеритное разложение алюмосиликатных и силикатных минералов происходит при активном участии сложно построенных микробиальных сообществ. При этом микробиота выполняет две функции: с одной стороны - деструкции алюмосиликатных и силикатных минералов; с другой — мощным аккумулятор алюминия в минеральном составе различных биоморфоз» [11].

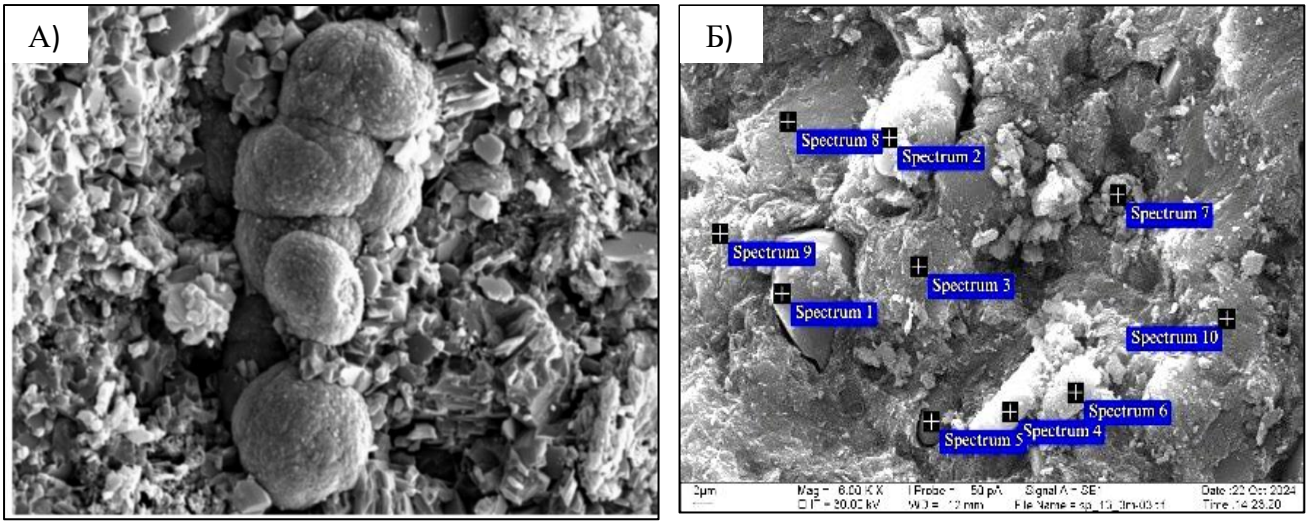


Рисунок 3.6. Гроздевидные коккоидных бактерий в бокситовой зоне латеритной коры выветривания, СЭМ А – [11]*; Б – фото автора*

Важным фактом является то, что Экваториальный климат на Земле (и в Гвинеи) установился начиная с верхнего мезозоя и сохранялся даже в период максимального оледенения (см. раздел Климат). Следовательно, латеритная кора выветривания Гвинеи формировалась в течение длительного геологического периода (К – Q) в условиях избыточного тепло обеспечения и избыточного увлажнения.

Региональные факторы. Формирование и эволюция тектонического строения континентальной части Африки связаны с формированием и эволюцией структур Атлантического океана. Глобальные тектонические воздействия экваториального сегмента САХ на Леона-Либерийского щита обусловили: образование системы трансформных глубинных разломов и

многочисленных оперяющих нарушений (см. рисунок 2.9, 2.12) создали высокую проницаемость массива. Дискретность массива, высокая его проницаемость, огромная удельная поверхность способствовали проникновению атмосферных осадков на большую глубину и развитию площадных и линейных кор выветривания. Пенепленизированный рельеф способствует сохранности площадных кор выветривания на выровненных поверхностях.

Как уже было сказано, латериты в Гвинее формируются на магматических, метаморфических и осадочных породах. Это разнообразие структур и состава исходных пород в сочетании с интенсивным тектоническим режимом влияет на миграционную подвижность и зональность строения КВ.

Таким образом, основными условиями, предопределяющими структуру и состав латеритных кор выветривания в Гвинее, являются: геотектоника, морфология и возраст рельефа, минералогический и петрографический состав субстрата, продолжительность процессов выветривания.

3.4. Механизм формирования. Гидрохимическая, геохимическая зональность коры выветривания

Н. М. Страхов, Б. Б. Полынов, Б. Б. Абсент, И. И. Гинзбург, А. И. Перельман, Мамедов и другие разработали концепцию, согласно которой процессы выветривания развиваются благодаря миграционной подвижности элементов в зоне гипергенеза. Основы геохимического изучения процессов выветривания были заложены выдающимся русским учёным Б. Б. Полыновым. Он предложил первую принципиальную геохимическую схему элювиального процесса на основе широко известные миграционные ряды элементов (таблица 3.2), обладающих разной подвижностью в зоне гипергенеза, наметил основные формы остаточных и аккумулятивных кор выветривания (1933, 1934, 1944, 1947, 1956).

Таблица 3.2. Таблица миграционной подвижности элементов в зоне гипергенеза

Энергично выносимые	хлор (Cl) и сера (S)
Легко выносимые	натрий (Na), кальций (Ca), магний (Mg) и калий (K)
Подвижные	силикаты (SiO_2)
Слабо подвижные	железо (Fe), алюминий (Al), титан (Ti)
Практически неподвижные	кварц (SiO_2)

Н. М. Страхов (1960) [53] отмечал влияние двух факторов в процессе миграции элементов: климата разных участков гумидных поясов и присущего им тектонического режима. Результатом взаимодействия обоих этих факторов является ярко выраженная зональная локализация коры

выветривания на поверхности гумидных поясов, о чём свидетельствует схема региональной зональности коры выветривания в меридиональном сечении (рисунке. 3.7).

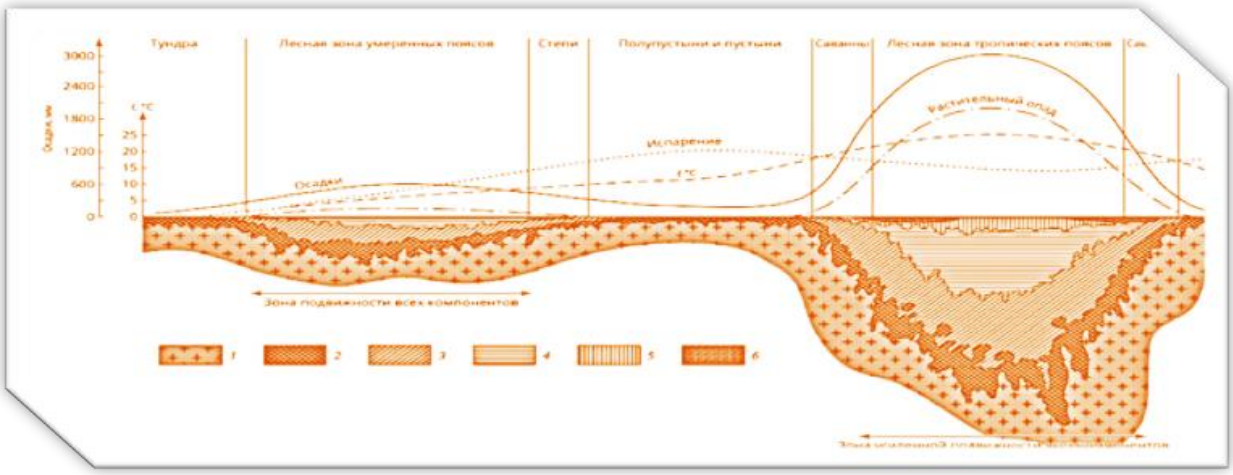


Рисунок 3.7. Региональная зональность коры выветривания в меридиональном сечении (Страхов Н.М.): 1 - невыветрелые породы; 2 - дресвяно-щебнистая зона; 3 - зона глин; 4 - каолиновая зона; 5 - железо-бокситовая зона; 6 – ферро-оксидный панцирь

Как уже отмечалось (раздел 2.2), разрывная тектоника Леоно-Либерийского щита благоприятствовала формированию дискретности массива, раскрытию старых и возникновению новых трещин, что служит началом процесса выветривания. Первоначально возникает процесс изменения порового пространства. Увеличение пористости, кавернозности и микро-трещиноватости существенно зависят от дефектов структуры, текстурных особенностей и состава субстрата: в массивных породах трещины приобретают зигзагообразную беспорядочную ориентировку, в сланцеватых — развиваются преимущественно по слоистости, формируя волнистые субпараллельные системы. Оба типа создают разветвлённые пути для проникновения геохимически активных растворов на значительную глубину.

Устойчивость минералов к химическому выветриванию определяется рядом кристаллохимических параметров: типом и энергией межатомных связей в кристаллической решётке, степенью её структурной дефектности (числом, типом и пространственным распределением дефектов), степенью дисперсности зёрен и связанной с ней удельной поверхностью реакции, а также природой активных центров на поверхности минерала [64]. Высокая плотность дефектов и развитая удельная поверхность многократно ускоряют гидролиз и окисление, что объясняет значительно меньшую устойчивость мелкозернистых разновидностей по сравнению с крупнокристаллическими аналогами того же состава.

Вода выступает универсальным агентом и транспортной средой в зоне гипергенеза, обеспечивая физическую дезинтеграцию пород, химическое разрушение минералов, латеральную и вертикальную миграцию компонентов и синтез новых минеральных фаз. К числу

ведущих химических реакций относятся: гидролиз первичных алюмосиликатов, окисление железа- и серосодержащих минералов, гидратация и дегидратация оксидов. В их совокупном результате субстрат преобразуется посредством псевдоморфного замещения, метасоматоза, старения коллоидных систем и кристаллизации из пересыщенных растворов. Конечными продуктами этих преобразований становятся минеральные ассоциации, термодинамически устойчивые в конкретных поверхностных гидрохимических условиях.

Атмосферные воды насыщенные органическими, гумусовыми и карбоновыми кислотами являются главными реагентами, которые приводят к трансформации минералов материнского субстрата, выносу растворимых элементов (рисунок 3.8) и перераспределению в профиле выветривания слаборастворимых микрокомпонентов [30]. В процессе выщелачивания и гидролиза при высвобождении компонентов из кристаллических решеток исходных минералов происходит насыщение раствора теми или иными соединениями; изменяется pH среды (кислые воды переходят —> в слабокислые —> слабощелочные —» щелочные). С глубиной в них уменьшается количество кислорода и парциальное давление углекислого газа. Состав инфильтрующихся вод по мере накопления в растворе химических элементов и повышения их щелочности непрерывно меняется сверху вниз по разрезу коры выветривания, постепенно утрачивая свою реакционную способность. Таким образом в вертикальном профиле КВ создаётся *гидрохимическая зональность*, которая предопределяет изменение процесса минералообразования с глубиной и, в конечном счете, приводит к образованию *геохимической зональности* (рисунок 3.8).

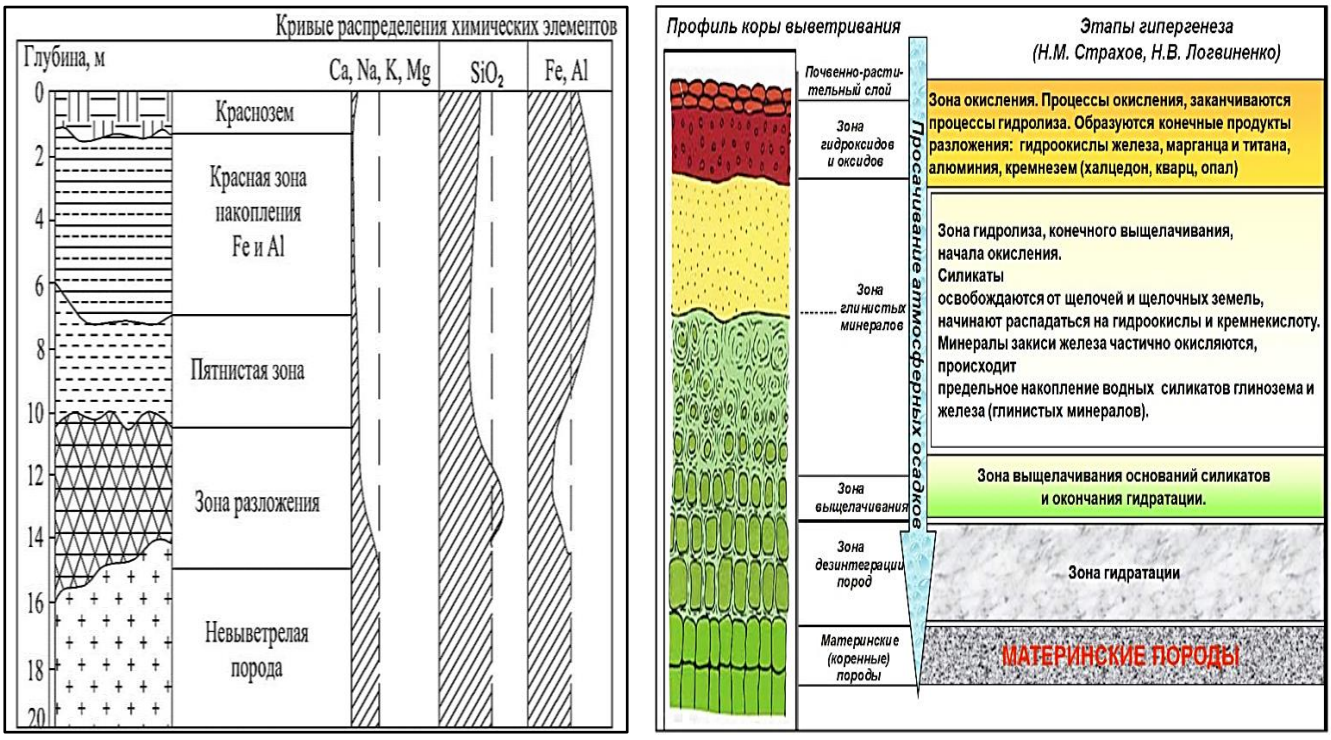


Рисунок 3.8. Геохимической зональности коры выветриванияпо И. И. Гинзбургу (слева) и Н. М. Страхову (справа)

Применительно к территории Гвинейской Республики геохимическая зональность строения профиля выветривания в сочетании с данными о гидрогеологической зональности и изменении газового режима, а также о направленности и динамике процессов выноса и перераспределения породообразующих компонентов (таблица 3.3) рассмотрены в работе В.И. Мамедова (2011г) [30].

Таблица 3.3. Миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе бокситоносной коры выветривания, геохимическая и гидрогеохимическую зональность строения [31]

Зоны горизонты / коры выветривания		Главные породообразующие минералы (по преобладанию)	Зональность гидрогеологическая: В сухой сезон	Зональность гидрогеологическая: В сезон дождей	Изменения состава подземной атмосферы в сезон дождей	Динамика привноса (Kk* > 1) и выноса (Kk < 1) главных породообразующих компонентов в профиль бокситоносной ЛКВ
Почвенно-растительный горизонт — зона мобилизации Al и Fe		Гетит и гематит, гиббсит, алюмогетит и эоловый кварц-алюмосиликатный материал		зона инфильтрации и аэрации	$CO_2 O_2$	Главные породообразующие компоненты латеритных покровов становятся метастабильными, вынос активнее, чем
Собственно латеритный покров. Зона свободных оксидов и гидроксидов Al и Fe	Железистая кираса — подзона абсолютного накопления и выноса	Гетит и гематит, гиббсит, алюмогетит			O_2	$\frac{Al}{0,90} > \frac{H2O}{0,96} > 1 < \frac{Ti}{1,01} < \frac{Ro+R2O}{1,67} < \frac{Si}{1,74} < \frac{Fe}{1,80}$
	Бокситы — подзона абсолютного накопления и выноса	Гиббсит, гетит и гематит, алюмогетит			CO_2	$\frac{Si}{0,46} > \frac{Ro+R2O}{0,56} > \frac{Fe}{0,63} > 1 > \frac{H2O}{1,36} < \frac{Ti}{1,37} < \frac{Al}{1,46}$
	Зона латеритизациип — переходная зона от глин к собственно латеритам	Гетит и гематит, гиббсит, остаточный каолинит	ЗОНА АЭРАЦИИ			$\frac{Si}{0,23} > \frac{Ro+R2O}{0,24} < \frac{Ti}{1,35} < \frac{Al}{1,38} < \frac{H2O}{1,77} < \frac{Fe}{2,12}$
Горизонт глин — зона гидратирования и разложения минералов. Материнские породы	Глины каолинитовые, красные, железистые, верхняя часть	Каолинит, гетит				$\frac{Ro+R2O}{0,24} > \frac{Si}{0,56} > 1 < \frac{Ti}{1,21} < \frac{Al}{1,24} < \frac{H2O}{1,50} < \frac{Fe}{1,99}$
	Глины каолинитовые, светлые, средняя часть	Каолинит, гетит с небольшим количеством остаточного кварца		Зона обводнения	Уменьшение O_2	$\frac{Ro+R2O}{0,49} > \frac{Si}{0,60} > \frac{H2O}{0,80} > \frac{Ti}{0,87} > \frac{Al}{0,91} > 1 < \frac{Fe}{1,02}$
	Глины полиминеральные, сапролит, нижняя часть	Гидрослюды, иллит, монтмориллонит с остаточным кварцем				$\frac{Ro+R2O}{0,40} > \frac{Si}{0,76} > \frac{Fe}{0,87} > \frac{Ti}{0,95} > 1 < \frac{Al}{1,05} < \frac{H2O}{1,29}$
Зона дезинтеграции и начального разложения						
Материнские породы		Алюмосиликаты и кварц в мелких и тонких выделениях	Относительный водоупор		$\frac{Si}{1}; \frac{Al}{1}; \frac{Ti}{1}; \frac{Fe}{1}; \frac{Ro+R2O}{1}; \frac{H2O}{1}$	

Таким образом, при выветривании пород в вертикальном профиле ЛКВ на разных интервалах глубин формируются неодинаковые гидрогеологические среды, обуславливающие различную направленность выноса элементов в пределах этих.

Натурные наблюдения автора разрезов ЛКВ разных пород в разных регионах Гвинеи показали зональное строение, которое выглядит следующим образом (сверху вниз):

V зона – вторичной цементации представлена породами красно-коричневого и бордового цвета, сложенная с геохимической точки зрения оксидами железа и алюминия, в минералогическом отношении – гематитом, гиббситом, гетитом, остаточным каолинитом, образующими боксит и ферриплантит. Структура пород брекчиевидная. Блоки различного размера расположены хаотично и сцементированы железисто-глинистой матрицей. Блоки бокситов, размером от 2см до 20-40см, составляют 15%, железистые образования размером 1-

7см. Порода кавернозная и трещиноватая. Размеры каверн от 3-5см до 7х10х30см. Ожелезнение по поверхности каверн и трещин – до 1-3см. В блоках наблюдается реликтовая структура субстрата. Неравномерное распределение блоков сказывается на прочности пород, которая варьирует от прочной (разрушается молотком) до слабо прочной (раздавливается пальцами руки).

IV зона, разделяется на две подзоны, сложенные дисперсными грунтами:

IVa – подзона латерита: глины и суглинки красного цвета, за счёт ожелезнения; в минералогическом отношении содержит каолинит гематит гиббсит, гётит. Структура грунта коагуляционно-цементационная. Особенность латерита «окаменение» при высыхании, после чего не размокает в воде.

IVб – бледно-окрашенная подзона (zone pâle de croûte d'altération) глинистых грунтов белёсого, светло-серого или жёлтовато-белого цвета, полимиктового состава (гидрослюды, хлориты, монтмориллонит, каолинит, нонтронит, кварц), зависящего от минерального состава субстрата. Структура грунта коагуляционно-цементационная. Грунты приобретают свойства пластичности и зависимость прочностных и деформационных свойств от влажности.

III зона – литомарж (сапролит, от греч. σαπρος — гнилой), минеральный состав субстрата на 50% замещён вторичными глинистыми минералами, при этом порода сохраняет структуру и текстуру материнских пород.

II – зона дезинтеграции представлена фрагментами горных пород, разбитых системами вертикальных и горизонтальных трещин на крупные блоки, выветрелые с поверхности.

I – трещинная зона: материнские породы с видимыми признаками фрагментации (трещины). Вдоль трещин развиваются глинистые материалы. Химический и минералогический состав и физико-механические свойства горных пород в этой зоне практически идентичны составу исходной породы.

Принимая во внимание всё вышеизложенное, миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе коры выветривания определяет геохимическую, гидрогеохимическую зональность и способствует формированию инженерно-геологическую зональность строения латеритной коры выветривания [6].

3.5. Инженерно-геологическая зональность латеритных кор выветривание Гвинеи

Анализ зонального строения латеритных кор выветривания (ЛКВ) является важным этапом в инженерно-геологическом изучении латерита. Он предоставляет информацию о его строении, состоянии, а также о его физико-механических свойствах, что привлекло внимание многих исследователей.

В России наиболее часто используемые схемы расчленения КВ представлены в таблице 3.4. Они приемлемы при расчленении коры выветривания (элювия), формирующейся в условиях континентального климата, где основным механизмом является физическое разрушение и формируются четыре зоны: зернистая, мелко обломочная, глыбовая, трещиноватая.

Таблица 3.4. Схема расчленения кор выветривания на зоны

Зоны КВ	И. И. Гинзбург 1947г	Г. С. Золотарев 1948г	Н.В. Коломенский, 1949г	М. Варгас 1953 г.	Э. А. Джавахишвили 1962г.	Д П. Прочухан 1965г	В .Б. Швец, 1970г	В. Д. Ломтадзе 1971г.	Л.А. Ярг 1991г.
V	-	-	-	-	-	-	-	-	Вторичной цементации
IV	Интенсивного разрушения	Дисперная	-	Поверхностная или пористая	Мелко годробления	Химического выветривания	Глинистых продуктов	Зернистая	Дисперсная
III	Зона слабо й дезинтеграции	Обломочная	Зернистая или мелко обломочная	Молодые элювиальные грунты	Щебенистая	Физического выветривания (обломочная)	Выще лачивания	Мелко обломочная	Литомарж
II	Трещиноватая	Трещиноватая	Глыбовая	Разрушенные породы	Глыбовая	Глыбовая	Дезинтеграции	Грубообломочная глыбовая	Обломочная
I-0	-	Скрыто трещиноватая скальная порода	Монолитная	Скрыто трещиноватая скальная порода	Скрыто трещиноватая	Скрыто трещиноватая скальная порода	Слабого расчленения	Скрыто трещиноватая скальная порода	Трещинная

При анализе строения профиля ЛКВ в Гвинее приемлема универсальная схема расчленения выветрелых пород на зоны, предложенная Л.А. Ярг, в основу которой положены: механизм процесса (вертикальная гидрохимическая и геохимическая зональность в профиле коры выветривания), минеральный состав пород, характер эффективных структурных связей и структурных связей минерального уровня и структурно-текстурные особенности (таблица 3.5) [64]. Более поздние работы, проведенные на латеритах различных материнских пород по всей стране, подтвердили эту схему.

*Таблица 3.5. Схема инженерно-геологического расчленения кор выветривания (*по: Ярг Л.А. [64], с дополнениями*)*

Зоны, подзоны	Индекс зоны, подзоны	Типоморфные минералы	Структурные связи		Структура	Текстура	Пустотность	
			минерального уровня	эффективные			поровая	Трещинная
Зона вторичной цементации: кираса, структурный боксит	**V**	Гиббсит, гетит, остаточный каолинит	Цементационные, кристаллизационные	Цементационные	Бобовая	Нодулярная, кавернозноя, ячеистая	везикулярная каверны выщелачивания	Органогенные (за счет миграции железа)
Дисперсная зона	**IV**	Каолинит, гематит, гетит, гиббсит	Коагуляционно - цементационные	Коагуляционные	Коагуляционно-пластифицированная	Спутанно-волокнистая, беспорядочная, блочно-беспорядочная	Межагрегатная и внутриагрегатная, межгранулярная и внутригранулярная	Органогенные, экзогенная
Латеритная	IV6							
Глинистая	IVa	Охра, нонтронит, монтмориллонит, каолинит, гидрослюды	Коагуляционные					
Литомаржа	**III**	Первичные минералы; вторичные - глинистые гидрослюды, гидрохлориты, гидроокислы железа	Смешанные: коагуляционно-кристаллизационные	Коагуляционно-кристаллизационные	Реликтовая, псевдоморфная	Макротестура - реликтовая, микротекстура - мозаичная	Межкристаллические межгранулярные, каверны выщелачивания	Микротрещины
Обломочная	**II**	Первичные минералы; глинистые в составе заполнителя	Кристаллизационные	Механические, коагуляционные	Щебнисто-глыбовая	Щебнисто-дресвяная, листоватая,	Межкристаллические, межгранулярные	Литогенетическая; тектоническая; экзогенная
Трещинная	**I**	Первичные минералы	Кристаллизационные	Кристаллизационные механические	Исходных пород	То же	То же	Литогенетическая; тектоническая
Невыветрелые породы	**0**	То же	Кристаллизационные		Исходных пород	Субстрата	То же	Литогенетическая; тектоническая

Эта схема расчленения была использована автором при исследовании латеритов дунитов Конакри, гранитов Канкан, долеритов из регионов Боке, Канкан, Киндия, песчаников Камсар.

В полном профиле латеритной коры выветривания Гвинеи автор выделяет пять зон и две подзоны (сверху вниз):

- V – зона вторичной цементации (кираса, структурный боксит).
- IV – дисперсная зона: (подзоны 1У-б – латеритная, 1У-а – глинистая).
- III – зона литомаржа.
- II – обломочная зона.
- I – трещинная зона.

Исследования автора свидетельствуют о том, что кора выветривания Гвинеи, обладает организационностью (определенной последовательностью зон), но разной мощностью. Эти различия обусловлены: возрастом рельефа — геоморфологическим фактором, историей формирования материнской породы, её складчатостью и тектонической нарушенностью. Например, мощность КВ итабаритов миоценового рельефа, достигающая 120-140м [31], значительно превышает мощность латеритов других формаций.

3.6. Закономерности изменчивости состава и физико-механических свойств латеритных кор выветривание Гвинеи

Исследования физико-механических свойств ЛКВ Гвинеи базируются на «Теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород» Г.К. Бондарика (1971, 2011гг), в соответствии с которой изменение геологического параметра требует установления главных направлений изменчивости, имеющих *геологический смысл*. «Главное направление изменчивости инженерно-геологического параметра представляет собой направление действующего породообразующего процесса» [65]. Формирование латеритной КВ отвечает направлению миграционной подвижности породообразующих элементов и минерало-образования.

Применяя основы теории изменения физико-механических свойств грунтов, предложенной Г.К. Бондариком [5], автор проанализировал особенности изменчивость показателей свойств грунтов КВ в главном направлении формирования ЛКВ – ξ_1 – по глубине.

С геологической точки зрения ЛКВ Гвинеи могут быть классифицированы как бокситоносные (по алевро-аргиллитам), железистые (по гранито-гнейсам, итабиритам, по траппам дунитам).

Исследование изменчивости инженерно-геологических параметров выполнено автором по трём разрезам ЛКВ, сформировавшейся на наиболее широко распространённых на территории Гвинеи породах и различных по их происхождению: КВ формации метаморфической – гранито-гнейсов архейского возраста (район долины р. Бауле), КВ терригенной формации – алевро-

аргиллитах силурийского возраста (район Боке) и КВ трапповой формации – дунитах мезозойского возраста (район г. Конакри).

Анализ геохимических изменений и связанная с ними трансформация минерального состава, структурно-текстурных особенностей горных пород в коре выветривания явились основой при исследовании изменчивости физико-механических свойств латеритных грунтов.

Инженерно-геологический разрез коры выветривания дунитов

Субстрат: дунит — магматическая плутоническая порода ультраосновного состава, состоящая более чем на 90% из оливина; темно-зеленого и черного цвета, мелко- или среднезернистой структурой, массивной или полосчатой текстуры. Химический состав свежего дунита (мас. %): Fe_2O_3 – 8,0; FeO – 9,92; Al_2O_3 – 1,0; MgO –37,7; SiO_2 – 35,5; плотность – 3,2 г/см³. Зональность коры выветривания дунитов, мощностью 25м, такова (рисунок 3.9):

V – кираса — темно-коричневая кавернозная порода, структура – брекчиевидная, состав: гётит, гематит, магнетит и гиббсит. содержание: Fe_2O_3 — 75,72; Al_2O_3 — 6,90; SiO_2 — 1,27 мас. % [7]. Плотность минеральных частиц — 2,73 г/см³, плотность грунта — 2,22 г/см³. Пористость 3–18%. Мощность зоны 7 м.

lV-A — дисперсная зона (латеритов) представлена красноватыми глинами с охристыми примазками; в ней появляются сначала довольно рыхлые. а затем все более плотные и прочные красно-бурые стяжения окислов железа и бокситов, размером 7-10см, количество которых возрастает по направлению к поверхности. Содержание: Fe_2O_3 — 81,22; Al_2O_3 — 1,94; SiO_2 — 2,17 мас. % [7]. Естественная влажность 35–44%; плотность минеральных частиц – 2,3–2,5 г/см^3, плотность грунта –1,31–1,78 г/см^3. Мощность зоны 5 м.

IV- Б — дисперсная зона сложена желтыми глинами, в нижней части которой имеются значительные по размерам блоки дунитов; размер и количество блоков уменьшаются к кровле; в гранулометрическом составе содержание фракций 2-0,05 – 20%; 0,05-0,005 –19%; <0,005–61%. Естественная влажность – 45-47%; плотность минеральных частиц – 2,30–2,48 г/см^3, плотность грунта –1,50–1,95 г/см^3. Мощность зоны 13 м.

III — зона литомаржа представлена выветрелыми блоками дунитов с серо-зелёным хлорит-монтмориллонитовым заполнителем; блоки покрыты скорлупой, представляющей собой тончайшие листочки выветрелых коренных пород желтоватой окраски, с красной железистой каймой на внутренней и внешней стороне скорлупок; содержание Fe_2O_3 – 19,92; FeO – 5,05; Al_2O_3 – 0,73; SiO_2 – 37,9, MgO – 22, 3 масс % [7]. Мощность зоны – 4-6м.

II — обломочная зона сложена блоками материнских пород; ожелезнение наблюдается по поверхности блоков. Содержание Fe_2O_3 – 8,0; FeO – 9,92; Al_2O_3 –1,0; SiO_2 – 35,5; MgO: 37,7% масс %. Мощность зоны – 10-15 м.

Графики изменения показателей физико-механических свойств по главному направлению изменчивости – ξ_1, обусловленные инженерно-геологической зональностью строения профиля выветрившейся коры, приведены на рисунке 3.9. Обработанные и построенные автором по данным компании Geotec-Guinea.

Кривые значений свойств демонстрируют определенную закономерность: плотность минеральных частиц (γ_s) и модуль деформации (E) низкие в дисперсных зонах (γ_s – 2,48 г/см^3; E – 7-33 МПа) и сильно повышены в кирасе (γ_s – 2,73 г/см^3; E – 42-168МПа) вследствие цементации гидроксидами железа. Соответственно, пористость изменяется в противоположном направлении: от 3-18% в кирасе до 35-47% в дисперсных зонах.

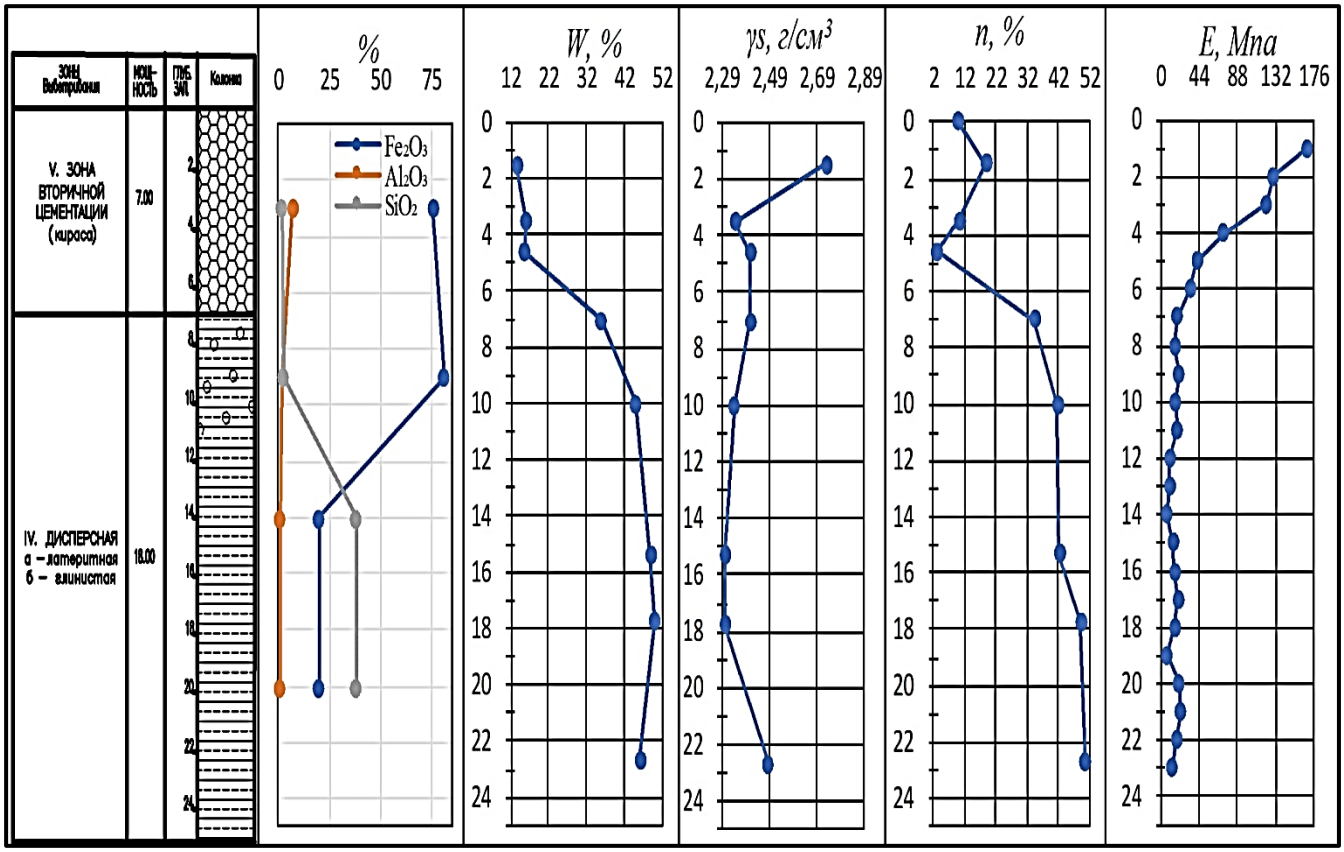


Рисунок 3.9. Изменчивость состава, влажности, плотности минеральных частиц, пористости и модуля деформации грунтов латеритной формации коры выветривания дунитов по главному направлению изменчивости – ξ_1

Инженерно-геологический разрез коры выветривания алевро-аргиллитов

Субстрат: алевро-аргиллит — осадочная порода красно-бурого цвета, пылеватого состава, состоящая в основном из кремнезема и оксида алюминия. Химический состав свежего алевро-аргиллита: Fe_2O_3 — 7,88; Al_2O_3 — 20,04; SiO_2 — 59,12 мас. %; плотность грунта — 2,6–3,0 г/см³.

Зональность коры выветривания дунитов, мощностью 19,48 м (рисунок 3.10):

V зона: боксит — крупноблокового строения порода, светло-желтого и светло-коричневого цвета, мелко пористая, с многочисленными мелкими кавернами, ожелезнена по многочисленным трещинам, по стенкам каверн плёнки чёрного колломорфного железа, в нижней части с плитками кирасы. Мощность зоны – 5,5м.

Компонентный состав бокситов: Fe_2O_3 – 23,48; Al_2O_3 –46,05; SiO_2 – 2,07 масс %. Плотность (объёмная масса) грунта – 2,0 г/см^3.

Компонентный состав кирасы Fe_2O_3 –36,8; Al_2O_3 –35,96; SiO_2 –3,12 масс % (относительные значения вес%). Плотность грунта – 2,3 г/см^3.

lV-а — дисперсная зона: латерит каолинитовых и гетит-каолинитовых глин. В пределах этой зоны происходит практически полный вынос щелочных и щелочноземельных компонентов и значительной части кремния. Химический состав пород этой зоны близок к стандартам каолинита с примесью гетита (реже – гематита), количество которого увеличивается в самой верхней части зоны. Соответственно, меняется цвет глин от белесых и палевых внизу, через пестроцветные, к красноцветным латеритам. Содержание: Fe_2O_3 – 23,97; Al_2O_3 –32,06; SiO_2 – 26,21 масс %. Естественная влажность 28%; плотность минеральных частиц – 2,57 г/см^3, плотность грунта – 1,75 г/см^3. Мощность зоны 2,0 м.

lV-б — дисперсная зона: полиминеральных глин, в пределах которой происходит трансформация минерального состава материнских пород, их разложение и гидратация с образованием глинистых минералов таких, как гидрослюды, монтмориллонит, каолинит Новообразованные глинистые породы за счет выщелачивания и выноса значительной части вещества (в основном, кремнезема, щелочных и щелочноземельных компонентов) материнских пород теряют в объемной массе от исходных 2,6 –3,0 г/см^3 до 1,65–1,8 г/см^3 и превращаются в мягкие пластичные породы. В них хорошо сохраняются структурные и особенно текстурные признаки материнских пород, то есть эти глины следует рассматривать как псевдоморфные (или структурные). Содержание Fe_2O_3 – 12,04; Al_2O_3 –25,92; SiO_2 – 46,84 масс %. Естественная влажность 27%; плотность минеральных частиц – 2,48 г/см^3, плотность грунта – 1,71 г/см^3. Мощность зоны 2,3м.

III — литомарж (сапролит). В пределах этой зоны в материнских породах по трещинам отдельности и кливажу происходит глинизация пород и их дезинтеграция; породы на изломе матовые, появляются прослои и пятна глинистых пород с остатками невыветрелых фрагментов

и минералов материнских пород. Содержание: Fe_2O_3 – 8,30; Al_2O_3 –15,77; SiO_2 – 54,68 масс %. Естественная влажность 34%; плотность минеральных частиц – 2,31 г/см^3, плотность грунта – 1,17 г/см^3. Мощность зоны 1,7м.

II — обломочная зона (дезинтеграции): по составу идентичны коренные породы, содержание Fe_2O_3 – 7,88; Al_2O_3 –20,04; SiO_2 – 59,12 масс %. Плотность минеральных частиц – 2,52 г/см^3, плотность грунта – 1,25 г/см^3. Мощность зоны 7,9м.

График изменчивости физико-механических свойств и состава грунтов коры выветривания алевро-аргиллитов представлен на рисунке 3.10. Особенностью этого типа КВ является формирование в верхней части профиля горизонта бокситов, не характерного для ультраосновных пород. Переход от глинистых зон (IV-Б, IV-А) к V зоне сопровождается резким возрастанием содержания Al_2O_3 (с 25,92 до 46,05%) и Fe_2O_3 (с 12,0 до 36,8%) и снижением SiO_2 (с 46,8 до 2,1%), что отражается и в повышении плотности минеральных частиц (с 2,4 до 2,68 г/см^3).

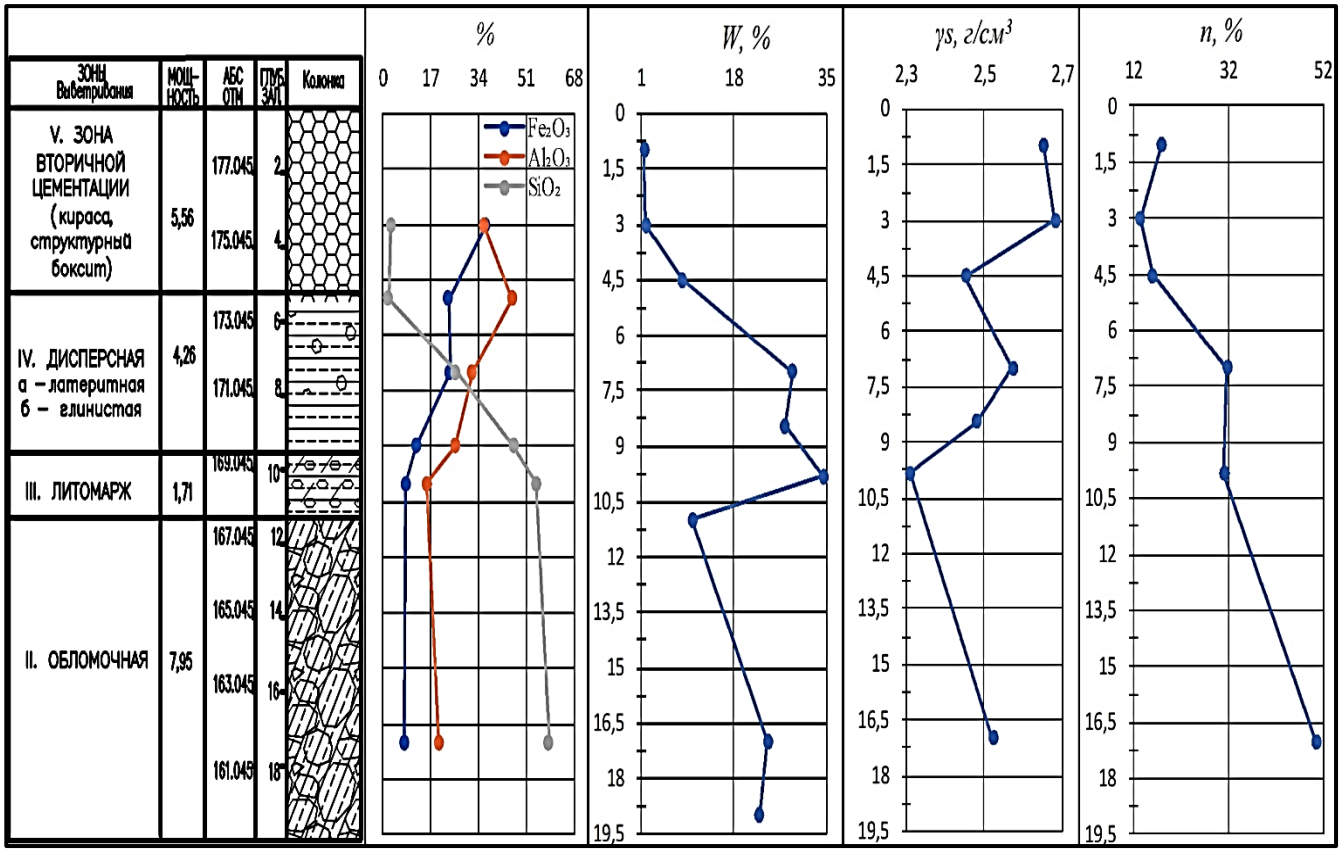


Рисунок 3.10. Изменчивость строения, состава, показателей влажности, плотности минеральных частиц, пористости грунтов латеритной формации коры выветривания алевро-аргиллитов по главному направлению изменчивости – ξ_1

Инженерно-геологический разрез латеритной формации коры выветривания гранито-гнейсов

Субстрат: граниты массивные имеют постоянный розовый или розовато-серый цвет, характеризуются неравномерно зернистым сложением с типичной гранитовой гипидиоморфнозернистой структурой, в которой плагиоклаз и биотит идиоморфны по отношению к микроклину и кварцу.

Зональность коры выветривания гранито-гнейсов, мощностью 40 м, такова (вверх снизу) (рисунок 3.11) [49]:

Vзона — кираса: цвет красно-коричневый, прочная (в верхней части) и средней прочности, мелкопористая, кавернозная порода, структура – брекчиевидная, состав: гётит, гематит, магнетит и гиббсит; с шероховатой поверхностью излома. Содержание Fe_2O_3 – 57,4; Al_2O_3 –21; SiO_2 – 25,0 масс %. Плотность минеральных частиц – 3,0 г/см^3, плотность грунта – 2,10 г/см^3, пористость 30%. Мощность зоны до 5 м.

lV дисперсная зона — латерит каолинитовых и гетит-каолинитовых глины. Зона подразделяется на подзоне:

lV- А — латерит: красноцветные глины и суглинки с практически полной дезинтеграцией реликтового структурного скелета и обогащённостью гидроокислами железа, которые повышенной водостойкостью и прочностью. Естественная влажность 25%, плотность минеральных частиц – 2,74 г/см^3, плотность грунта – 1,45 г/см^3, пористость 47%. Мощность зоны до 8 м.

lV- б — сапролит: представлена светлыми или пестрыми окраской супесчано-суглинистого с ядрами рухляка; хорошо прослеживаются реликты полосчатой гнейсовой текстуры, кварцевых жил и окварцованных зеркал скольжения. Естественная влажность 30%, плотность минеральных частиц – 2,70 г/см^3, плотность грунта – 1,36 г/см^3, пористость 49%. Мощность зоны до 6,5 м.

III — литомарж: представлены светлые супеси и суглинки с отчетливыми признаками структуры и текстуры гранито-гнейсов с включениями рухляка (10-50%). В пределах этой зоны значительная часть первичных минералов замещена вторичными (каолинит, галлуазит, гидрослюда). Естественная влажность 20%, плотность минеральных частиц – 2,70 г/см^3, плотность грунта – 1,51 г/см^3, пористость 43%. Мощность зоны до 10,5 м.

II — обломочная: представлен глыбами слабо выветрелых материнских пород, разделённых глинистым, суглинистым, супесчаным материалом. Плотность минеральных частиц – 1,68-2,70 г/см^3, плотность грунта – 1,95-2,54 г/см^3. мощность зона 8 м.

График изменчивости физико-механических свойств и состава грунтов коры выветривания гранито-гнейсов представлен на рисунке 3.11.

Графики изменения свойств сходны с графиками изменения ЛКВ в дунитах. Плотность минеральных частиц невелика в дисперсных зонах (γs – 2,7 г/см3) и значительно возрастает в кирасе (γs – 3,0 г/см3), пока пористость изменяется в противоположную тенденцию. В целом, эта особенность связана с накоплением оксидов железа и алюминия в V зоне.

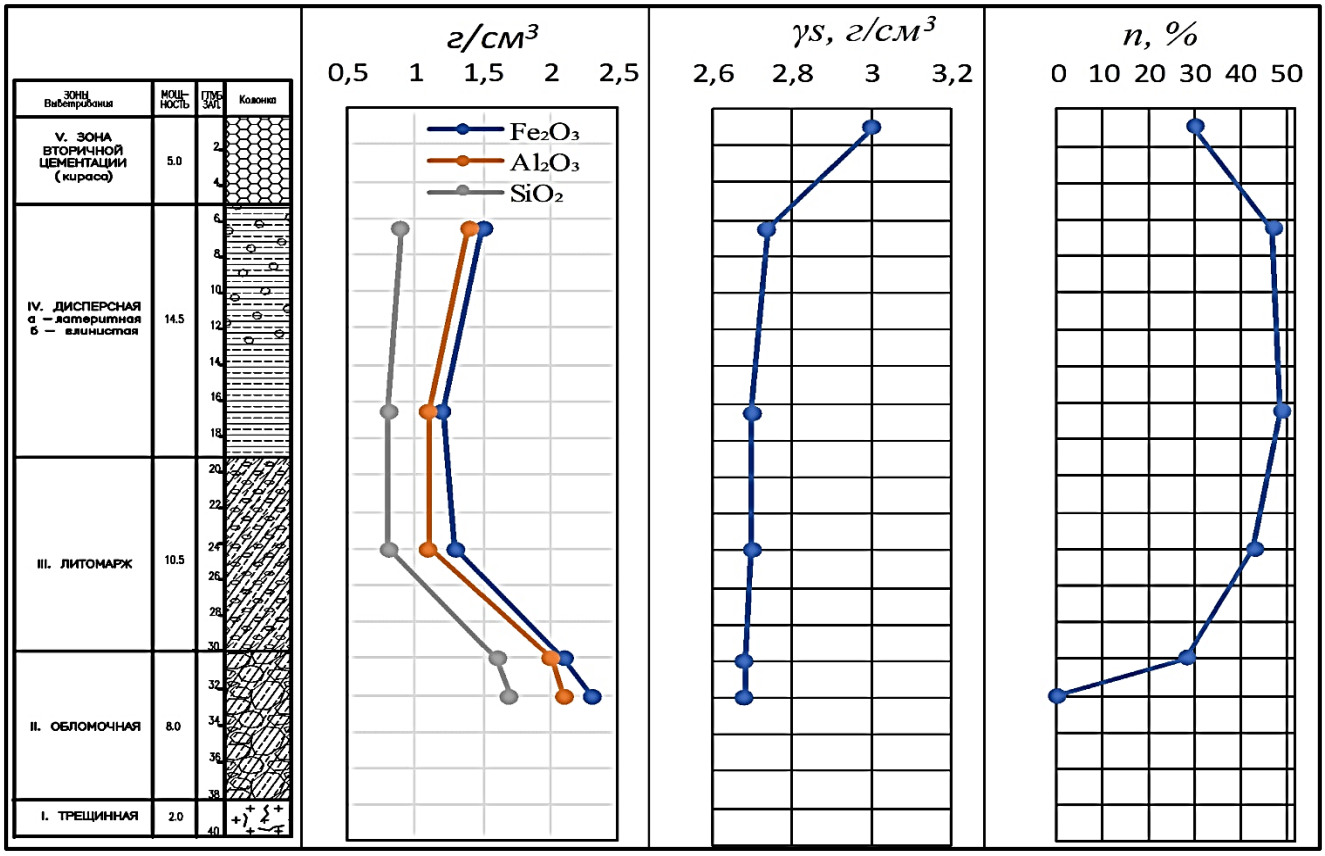


*Рисунок 3.11. Изменчивость строение, состава и свойств (плотности минеральных частиц и пористости) латеритной формации коры выветривания гранито-гнейсов по главному направлению изменчивости – **ξ1*** [49]

Сопоставления графиков показателей физико-механических свойств пород ЛКВ, образовавшихся на разных исходных породах (рисунок 3.9–3.11), указывает на определенную закономерность изменения свойств в зависимости от зоны.

Анализ *тренда* по главному направлению изменчивости ξ_1 позволил выявить причинно-следственные связи изменчивости грунтов инженерно-геологической латеритной формации коры выветривания (ЛФКВ):

1. Миграционная подвижность элементов и аккумуляция оксидов железа и алюминия в Vзоне ЛКВ сопровождается изменением показателя плотности минеральных частиц (γ_s): который увеличивается до 3,0 г/см^3 (на дунитах), снижается до 2,0 г/см^3 (на алевро-аргиллитах) и составляет 2,7 г/см^3 (на гранито-гнейсах).

2. Преобразование минерального состава сопровождается изменением геометрии порового пространства на микро- и макроуровне (макропоры и каверны), что отражается на

показателях плотности грунта и пористости ЛФКВ, достигая максимальных значений в приповерхностной V зоне ЛКВ.

3. Изменение состава, структурно-текстурных особенностей создаёт по главному направлению изменчивости ξ_1 инженерно-геологическую зональность строение пород ЛКВ: скальные (субстрат); I зона –трещинные пород; II зона – обломочные; III зона – полускальные (литомарж); IV зона –дисперсные (глинистый); V зона – сцементированные (вторичной цементации).

4. Изменчивость грунтов ЛФКВ несёт генетических признаки субстрата, проявляющиеся в реликтовых структурах, в минеральном составе глин дисперсной зоны (нонтрониты на дунитах; каолиниты на гранито-гнейсах;, полиморфные-гидрослюды, монтмориллонит, каолинит на алевро-аргиллитах) [65]

5. Формирование дисперсной зоны, представленной глинистыми грунтами с водно-коллоидами связями, порождают качественно новые признаки ЛФКВ, не характерные для субстрата: пластичность грунта и зависимость прочностных и деформационных свойств от их влажности.

6. Механизм формирования КВ обуславливает переформирование минерального состава, изменение структурно-связи и геометрии порового пространства, что отражается на прочности грунтов ЛФКВ.

7. Глинистых грунтов ЛФКВ кардинально отличаются по составу, структуре, текстуре и свойствам от глины осадочного происхождения. Образование минеральных ассоциаций при метасоматозе в условиях «ограниченного» пространства, миграция компонентов приводят к формированию к беспорядочной текстуре и неоднородности грунта дисперсной зоны и зоны вторичной цементации.

8. ЛФКВ свойственны:

- организационность строения формации,
- изменчивость состава и свойств грунтов в *направление действующего породообразующего* процесса» –по ξ_1,
- неоднородность грунтов в пределах каждой её зоны.

Выводы

В главе 3 сформулирована и обоснована принципиально новая концепция — «Латеритная инженерно-геологическая формация экваториальных стран». Настоящая концепция базируется на системном подходе, рассматривающем ЛКВ как геологическое тело гипергенно-эндогенного происхождения, формирование которого определяется взаимодействием эндогенных

(геодинамика рифта, тектоника плит, метасоматоз) и экзогенных (тропический климат, гидрогеохимия, биота) факторов.

В.Т. Трофимов предложил понятие: «Инженерно-геологическая формация — это полипородное многокомпонентное геологическое тело, включающее взаимодействующие твердую, жидкую и газообразную составляющие, а) объединяющее парагенетически связанные геологические тела меньшего объема, сформировавшиеся в определенной тектонической и климатической обстановках, б) претерпевшие впоследствии в ходе геологической истории воздействие одних и тех же геологических процессов и в) находящиеся в настоящее время в однотипном и регионально выдержанном состоянии, обусловленном фазовым состоянием и количеством жидкого компонента в ней».

Латеритная кора выветривания — это сложный структурированный геологический объект, обладающий рядом характерных черт:

- зональным строение, с постепенным «отмирание» генетических признаков субстрата и накопление черт, присущих породам, сформированным в приповерхностных термодинамических условиях;
- генетическими признаками, охватывающими весь комплекс черт, свойственных выветривающейся породе: гранулометрический, минеральный и химический составы, структура, текстура, трещиноватость, пустотность, физико-механические свойства;
- присутствием в пределах разреза пород полного спектра образований - от трещинных скальных пород до глин, отличных по степени разуплотнения, дисперсности и другим свойствами;
- изменением величины, конфигурации, пространственной структуры активных элементов толщи выветрелых пород - от глыб до кристаллитов глин, эффективных структурных связей пород (от кристаллизационных до коагуляционных), изменением прочностных, деформационных и фильтрационных свойств грунтов, связанными с эффективной структурой.

Полученные результаты непосредственно обосновывают первое защищаемое положение диссертации и создают теоретическую основу для решения задач главы 4 и главы 5.

На основе изложенного материала сформулировано первое защищаемое положение (страница 6).

Глава 4. Эволюция коры выветривания Гвинеи на современном этапе развития литосистемы

4.1. Современная стадия выветривания коры выветривания Гвинеи

Латеритная кора выветривания, являясь открытой системой, продолжает трансформироваться под влиянием внешних сред: компонентов атмо-, гидро-, биосферы. Важным аспектом изучение латеритной коры выветривания являются: исследование современных процессов, протекающие в зоне гипергенеза (Vзоны ЛКВ) под влиянием внешних сред, преобразование состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств грунтов ЛКВ Гвинеи, поскольку именно эта зона слагает сферу взаимодействия ПТС сооружений различного назначения.

Результаты исследований основаны на анализе существующих данных о корах выветривания Гвинеи и собственных изысканий, проведённых в 2023–2026 годах (рисунок 4.1).

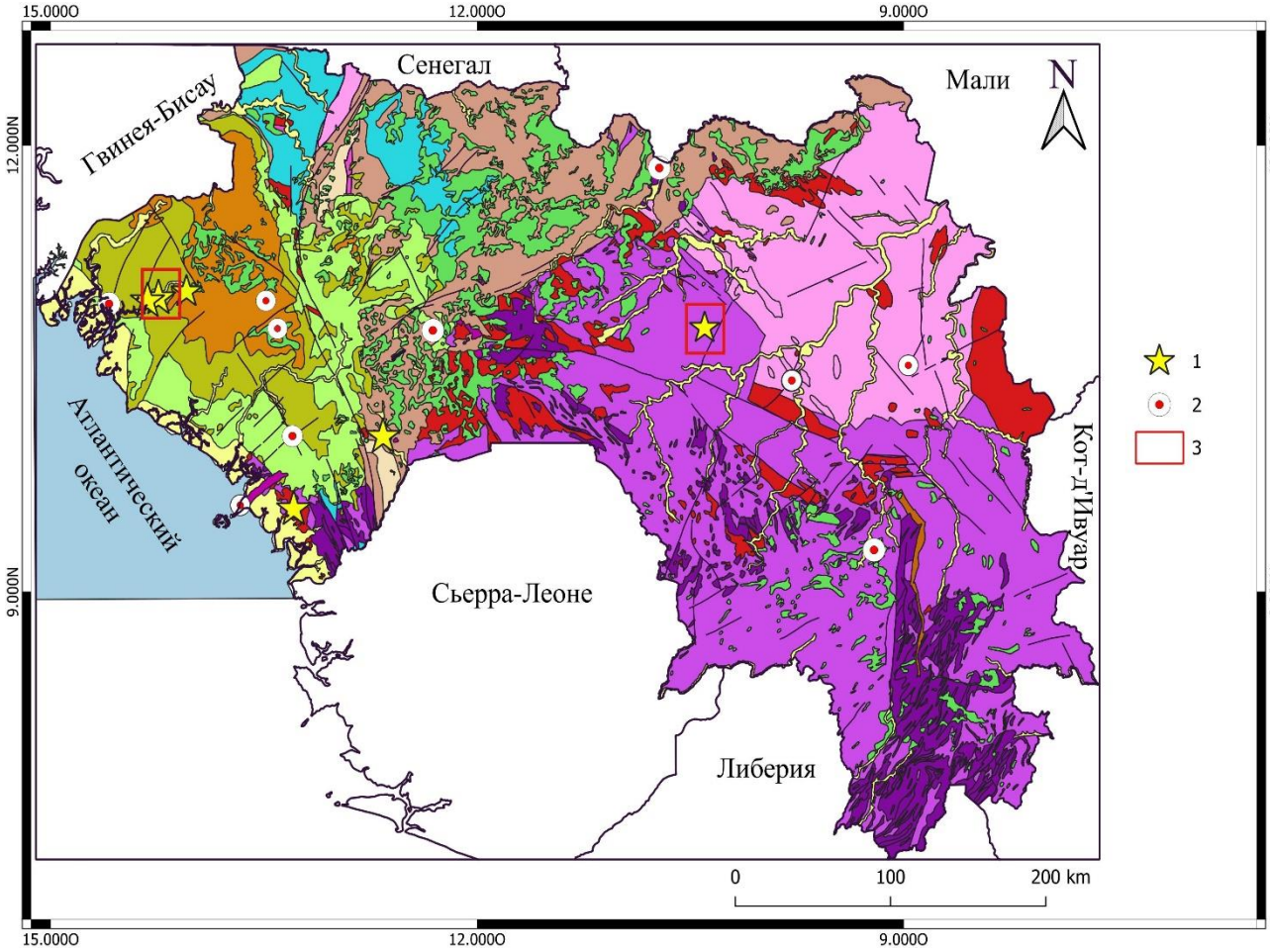


Рисунок 4.1. Геологическая карта Гвинеи с точками опробования коры выветривания:
Условные обозначения геологическая карта см. рисунок 2.13.
Точки отбора проб латерита: 1 - автором; 2 - другими исследователями; 3 – объекта комплексные лабораторные исследования

В качестве объекта были выбраны наиболее широко распространенные ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов и ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов (рисунок 4.1).

Пробы были отобраны из зоны цементации по интервально через метр (рисунок 4.2). Комплексные лабораторные исследования грунтов включали методы электронного сканирования на электронном микроскопе 1450VP с гарантийным разрешением 2,5 нм. Определение химического состава грунтов - микрозондом Oxfordinstrument INCA 300 непосредственно в лаборатории МГУ. Анализ минерального состава проводили с помощью рентгеноструктурного анализа на кафедры петрографии РГГРУ – МГРИ, и метод прокаливания в вакуумной установке при температуре 500ºС в лаборатории Омского ГТУ. Лабораторные исследований физико-механических свойств грунтов выполнены автором в Гвинее в лаборатории Géotec-Afrique в соответствии с французскими стандартами ISO и NF. Полученные данные полевых и камеральных исследований обобщены и обработаны в стандартных программных пакетах.

Применение современных методов изучения ЛКВ позволяли установить закономерности формирования состава и физико-механические свойства латеритной формации Гвинеи, образовавшихся на породах с различным минеральным составом, а также выявить роль процесса выветривания в формировании четвертичных грунтов различных генетических типов.

Результаты исследования и их обсуждение

Органолептическое описание ЛКВ

Детальное визуальное описание изученных разрезов (рисунок 4.2) позволило установить крайнюю неоднородность структурно-текстурного строения грунтов в зоне вторичной цементации (V зона).

Карьер Диаллойи (Боке). Высота исследуемого обнажения – 7 м, абс. отм. 79 м. В обнажении выделена зона вторичной цементации ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов (рисунок 4.2.А), которая была подразделена на две подзоны:

- Подзона Va (интервал 0-2,3 м): латериты красно-коричневого цвета, плотного, брекчевидного сложения с железисто-глинистым цементом, неравномерно кавернозная. Каверны разнообразной формы размером от 5-6 мм до 30 мм, полностью или частично заполнены глинозёмом, стенки каверн покрыты редкими пятнами желтоватого глиноземистого материала. В отдельных блоках наблюдается реликтовая слоистость, которая подчеркивается миндалевидными уплощёнными кавернами. Порода разбита сетью трещин, залеченных ожелезнением.
- Подзона Vб (интервал 2,3–7,0 м): порода брекчевидного сложения; блоки размером до 3-5 см, занимают до 50-80% объема, распределены неравномерно, сцементированы железистым массивным, пористым и кавернозным цементом светло-коричневого цвета. Каверны, размером 2-3 мм, частично вытянуты по направлению реликтовой слоистости и заполнены ожелезнённой глиной. Трещины открытые, с небольшими полостями, с натеками

гематит-гётитового материала красновато-бурого цвета, почковидного строения. По всему интервалу отмечаются обломки ферриплантитов табачно- желтого цвета, размером 20-25 мм, с прожилками глинозёмистого и железистого материала. Грунты маловлажные. Прочность грунта в пределах разреза меняется от крепких до рыхлых.

Шурф Сарая. Глубина шурфа – 6 м, абс. отм. 451 м. Выделена зона вторичной цементации ЛКВ гранито-гнейсов (рисунок 4.2.Б), которая была подразделена на две подзоны:

❖ Подзона Va (интервал 0–1,7 м) представлена в верхней части глинистой матрицей, умеренно плотной, красно-коричневого цвета. Обломочный материал занимает до 80% объема, размеры обломков от 1 до 2 см, от окатанной до угловатой формы, неравномерно распределенный по высоте.

❖ Подзона Vб (интервал 1,7-6,0 м) представлена латеритами с массивной структурой, кавернозными, менее плотными, беловато-коричневого цвета, смешанными с затвердевшими и окисленными глиняными брусчатками и мелким гравием.

В процессе исследования на всех стенках шурфа была отмечена закономерность повышения влажности по мере увеличения глубины.

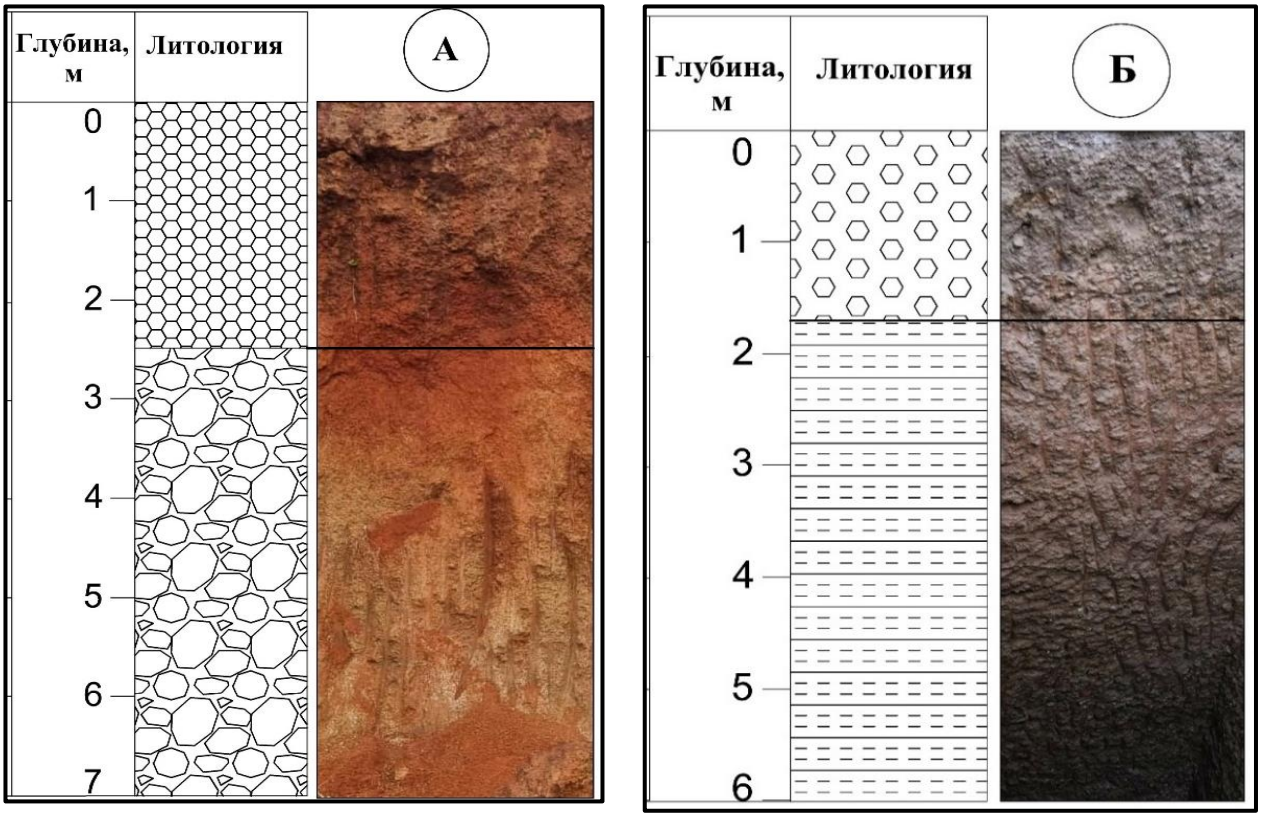


Рисунок 4.2. Характерные разрезы ЛКВ: А – силурийских алевро-аргиллитов; Б – нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Исследование микроструктуры латеритных кор выветривание Гвинеи

С точки зрения одного из основоположников отечественной инженерной геологии И. В. Попова, микроструктура отражает влияние различных физико-химических факторов на процесс образования. «В ней за счёт специфического сочетания различных морфологических (размер, форма, характер поверхности структурных элементов, их количественное соотношение), геометрических (пространственное расположение структурных элементов) и энергетических (структурные связи) признаков как бы заложена информация о прочности и деформационном поведении пород» [34].

В настоящее время исследование латеритных грунт с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) приобретает первостепенное значение, поскольку оно позволяет детально изучить микроструктуру (морфологию и расположение зёрен и пустот). В сочетании с микроанализом с помощью энергодисперсионного спектрометра (EDS) этот метод предоставляет дополнительные возможности, позволяя определить распределение минералов в исследуемом грунте.

Исследование микроструктуры латеритных кор выветривания Гвинеи методом СЭМ свидетельствует, что миграция железа является причиной трансформации системы под влиянием поверхностных и подземных вод. Микроструктурные и текстурные характеристики были выявлены при увеличении 6000 раз и продемонстрированы в таблице 4.1 и 4.2.

Трансформацию структур ЛКВ, которая проявляется в изменении их организованности (морфометрические и геометрические признаки) и степень агрегированности структурных элементов, их упаковки и пространственной ориентировки, приводит к смене геометрического облика структур [34, 77].

Структура пород, образованная твердыми (минеральными) элементами, слагающими структурный скелет, и порами может быть охарактеризована как беспорядочная. Для минеральных частиц, размером до 100μm, характерна изометрическая форма (таблица 4.1, глубина 4 м). Минеральные частицы спаяны в микроагрегаты (таблица 4.1, глубина 1, 2 и 5 м) и ультра-, микроагрегаты (таблица 4.1, глубина 4, 5 м и таблица 4.2, глубина 1 до 5 м) с неориентированным их расположением.

Таблица 4.1. Микростроение и геохимический состав грунтов V зона ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов

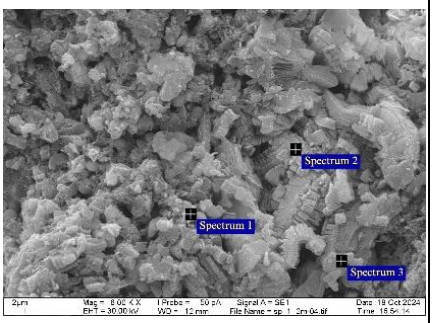
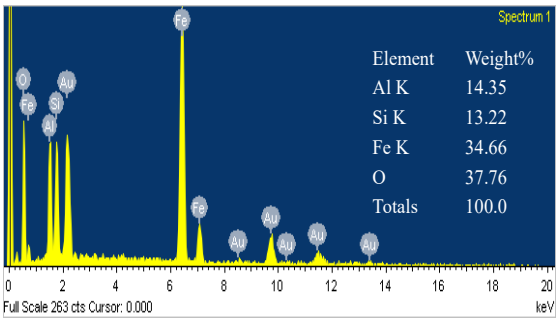
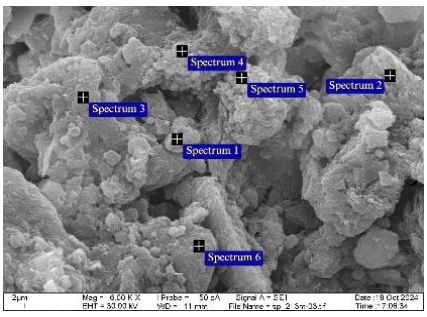
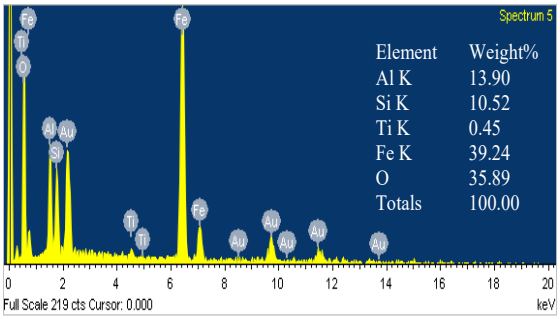
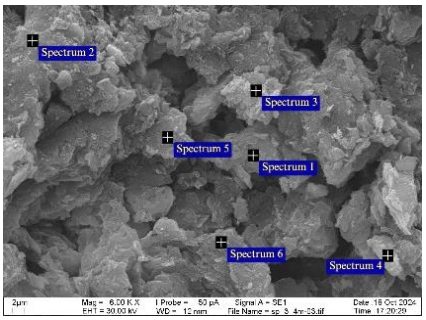
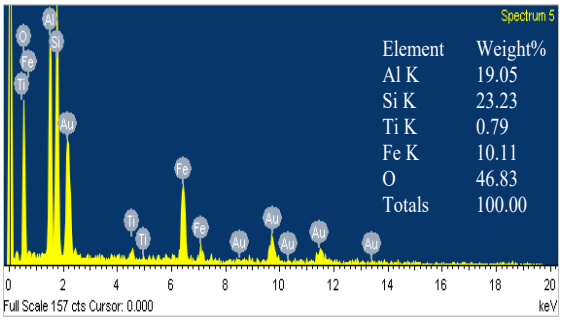
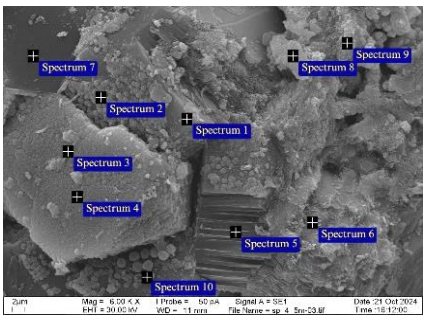
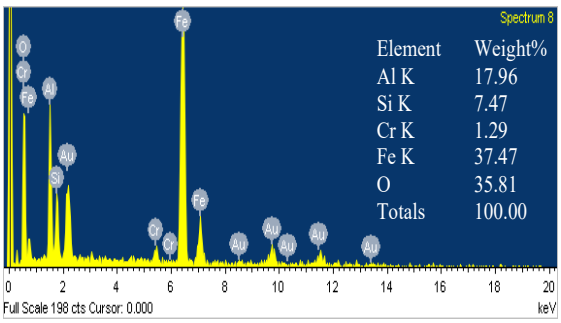
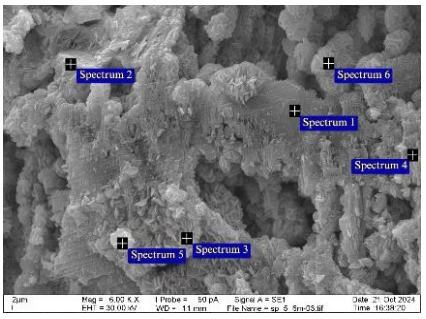
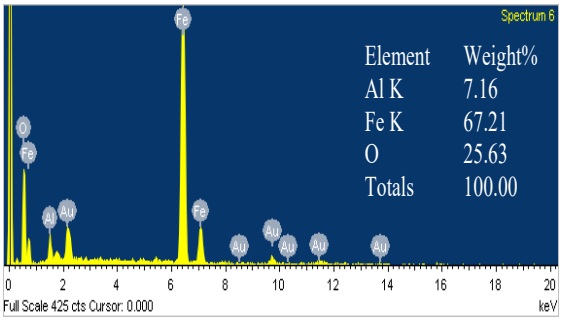
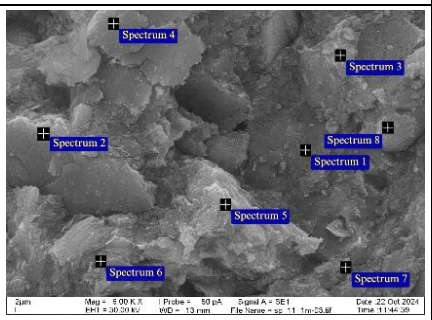
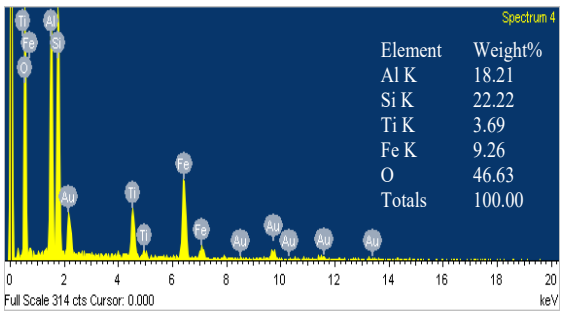
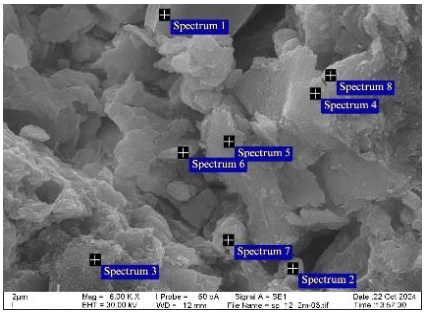
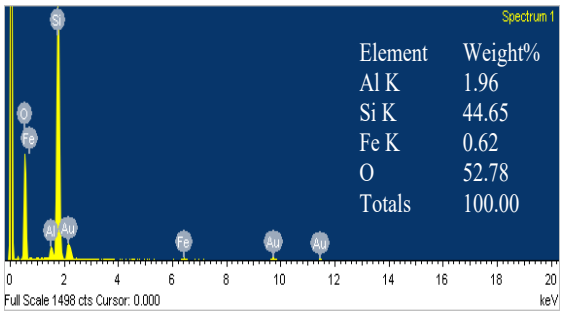
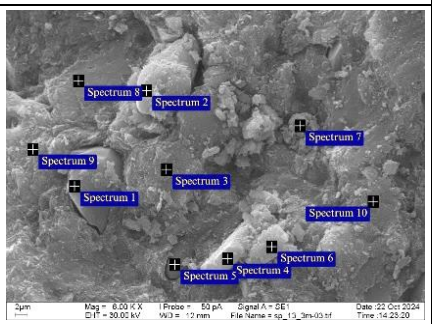
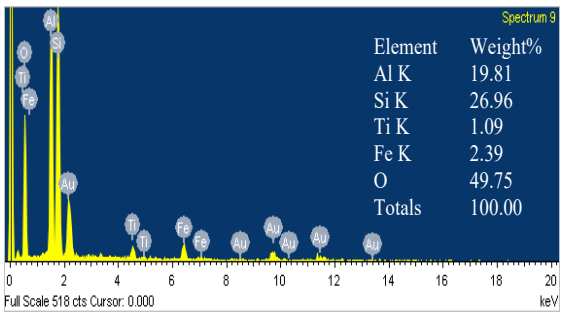
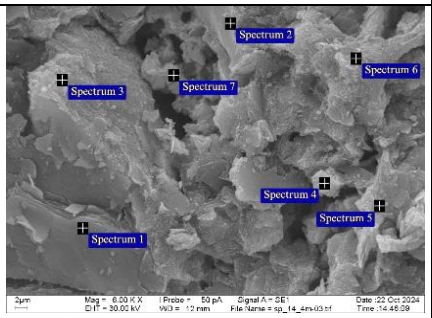
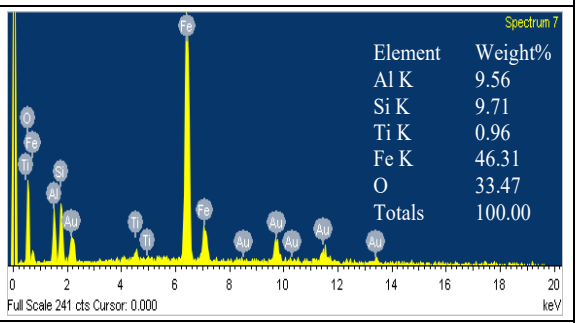
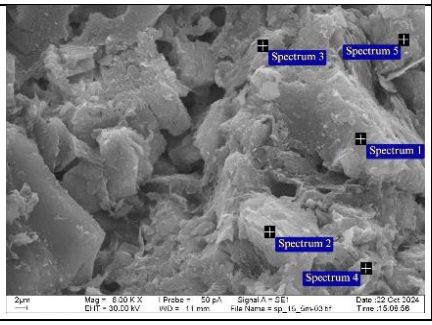
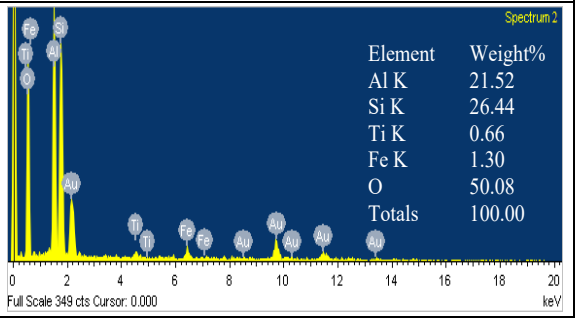
Глубина м	Фото грунтов	Микростроение грунта	Спектр микроанализа X (EDS)
1			
2			
3			
4			
5			

Таблица 4.2. Микростроение и геохимический состав грунтов V зона ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Глубина м	Фото грунтов	Микростроение грунтов	Спектр микроанализа X (EDS)
1			
2			
3			
4			
5			

Детальное изучение микростроения позволяет выделить несколько взаимопереходов геометрических типов структур, отражающих трансформацию в профиле выветривания в зависимости от исходной породы и глубины:

а) Микростроение ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов:

1 м – микроструктура доменная,

2 м – микроструктура агрегативная или коломорфная,

3 м – микроструктура псевдодоменная,

4 м – микроструктура доменно-глобулярная или доменно-коломорфная,

5 м – микроструктура псевдоглобулярно-сетчатая,

б) Микростроение ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов:

1, 4, 5 м – микроструктура доменно-матричная,

2, 3 м – микроструктура матричная.

Поровое пространство представляют микропорами сложной формы, подразделены на округлые (таблица 4.1, глубина 1 до 4 м и таблица 4.2, глубина 1 м) и сложной конфигурации (таблица 4.1, глубина 5 м и таблица 4.2, глубина 2 до 5 м): щелевидные (таблица 4.2, глубина 2 до 4 м), щелевидно-цепочечные (таблица 4.1, глубина 5 м), кавернозные (пещеристые) (таблица 4.2, глубина 5 м), протяженностью до 100 μm и более.

По морфологии можно выделить поры изометричные, щелевидные

Минералогические исследования: по результатам рентгеноструктурного анализа V зоны ЛКВ установлено, что типоморфными элементами латеритной формации Гвинеи является гематит, гиббсит, каолинит. Их присутствие отмечается на всех рентгенограммах (рисунок 4.3). Все эти минералы также были обнаружены другими исследователями гвинейских латеритов, образовавшихся на различных исходных породах.[80, 124].

Подробное исследование элементного геохимического состава минеральных фаз было выполнено с помощью микрозонда – энергодисперсионного спектрометра (EDS). Результаты подробное исследование элементного геохимического состава минеральных фаз, выполненного с помощью микрозонда, сведены в таблицу 4.3.

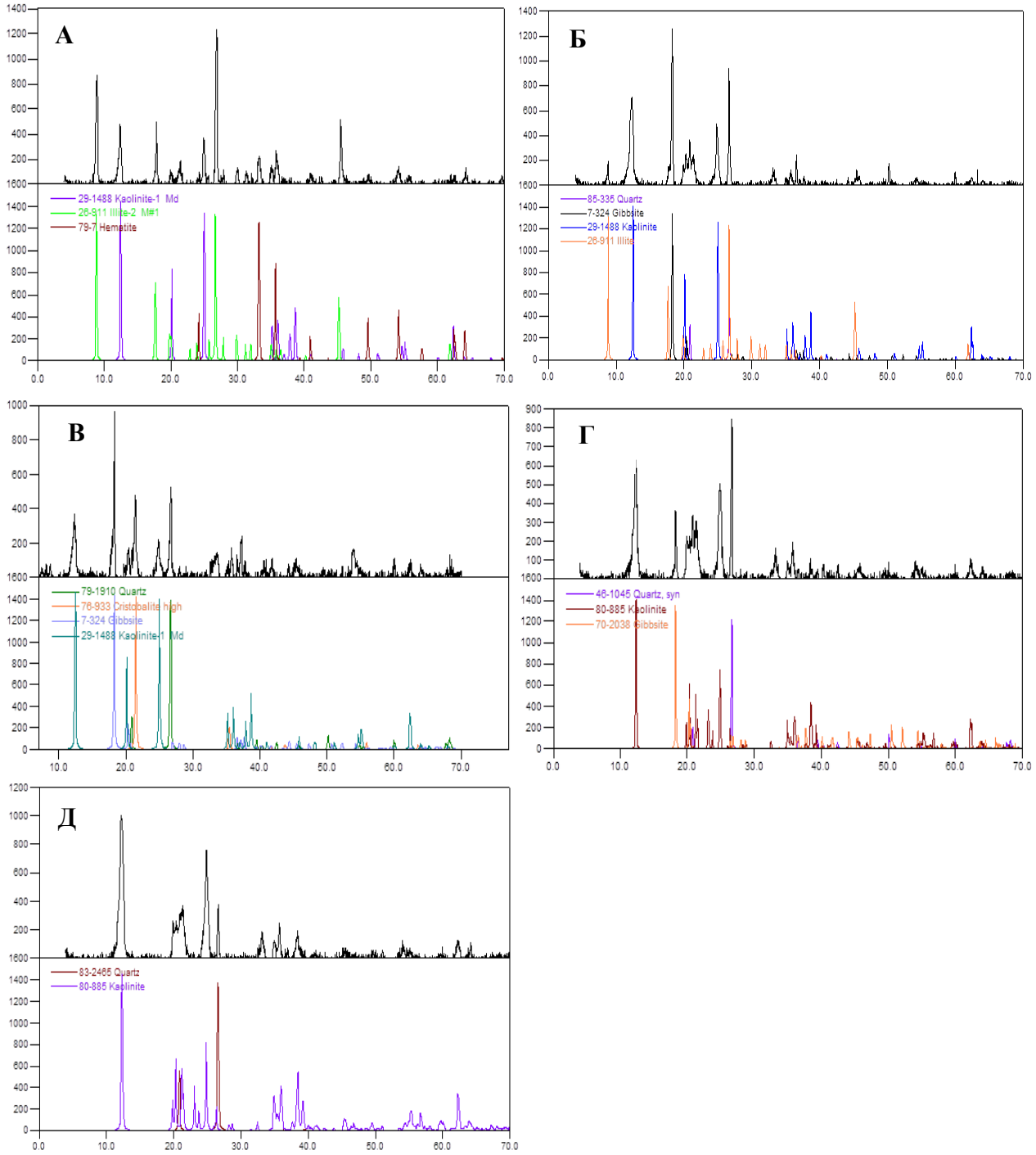


Рисунок 4.3. Рентгеноструктурный анализ ЛКВ: А, Б, В, Г, Д – глубина отбора проб соответственно с 1, 2, 3 ,4, 5м

Таблица 4.3. Количественный анализ минеральных фаз по EDS, в % по массе (wt%) и в атомном соотношении (At.)

Глуб. отбор проб т	**Точка анализа**	**Si (wt%)**	**Al (wt%)**	**Fe (wt%)**	**Ti/Cr/K (wt%)**	**Si/Al (At.)**	**Идентифицированный минерал**
V зона ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов							
1	Spectrum 2	19,82	17,86	18,85	-	1,06	Каолинит
	Spectrum 3	19,16	18,07	19,33	-	1,02	Каолинит
2	Spectrum 1	21,35	18,35	15,22	-	1,16	Каолинит
	Spectrum 3	20,47	21,27	10,11	1,35 (Ti)	0,95	Каолинит
	Spectrum 5	10,52	13,90	39,24	0,45 (Ti)	0,75	Гематит/гетит
	Spectrum 6	40,67	2,96	5,75	-	-	Кварц
3	Spectrum 1	23,81	20,91	6,11	1,02 (Ti)	1,13	Каолинит
	Spectrum 4	25,02	21,43	4,66		1,16	Каолинит
	Spectrum 5	23,23	19,05	10,11	0,79 (Ti)	1,21	Каолинит
4	Spectrum 5	-	51,84	1,52	-	-	Гиббсит
	Spectrum 6	4,40	6,40	61,01	-	0,66	Гематит/гетит
	Spectrum 7	-	48,57	6,40	-	0,00	Гиббсит
	Spectrum 8	7,47	17,96	37,47	1,29 (Cr)	0,40	Гематит/гетит
5	Spectrum 1	-	8,19	64,74	0,84 (Cr)		Гематит/гетит
	Spectrum 2	7,42	14,52	44,07	-		Гематит/гетит
	Spectrum 5	3,07	11,11	56,32	-		Гематит/гетит
	Spectrum 6	-	7,16	67,21	-	0,00	Гематит/гетит
V зоны ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов							
1	Spectrum 1	20,11	18,71	16,81	-	1,03	Каолинит
	Spectrum 3	24,44	20,90	6,40	-	1,12	Каолинит
	Spectrum 4	22,22	18,21	9,26	3,69 (Ti)	1,17	Каолинит

	Spectrum 8	25,05	20,24	6,08	0,22 (Ti)	1,19	Каолинит
2	Spectrum 1	44,65	1,96	0,62	-	21,90	Кварц
	Spectrum 2	26,18	22,07	1,79	-	1,14	Каолинит
	Spectrum 3	24,23	19,91	7,21	0,77 (Ti)	1,16	Каолинит
	Spectrum 8	27,23	20,32	2,61	-	1,29	Каолинит
3	Spectrum 1	41,32	5,54	0,88	-	7,18	Кварц
	Spectrum 2	41,77	4,82	1,19	-	8,34	Кварц
	Spectrum 9	26,96	19,81	2,39	1,09 (Ti)	1,31	Каолинит
4	Spectrum 1	26,32	21,46	2,44	-	1,18	Каолинит
	Spectrum 4	23,35	19,60	10,11	-	1,15	Каолинит
	Spectrum 7	9,71	9,56	46,31	0,96 (Ti)	0,98	Гематит/гетит
5	Spectrum 1	27,17	21,00	0,68	-	1,20	Каолинит
	Spectrum 2	26,44	21,52	1,30	0,66 (Ti)	1,18	Каолинит
	Spectrum 3	26,05	21,77	1,65	0,84 (K)	1,15	Каолинит

Изучение спектральных (Spectrum) данных (см. таблицу 4.1, 4.2) позволило выделить цепочку трансформации в латеритных профилях в интервале 1-6м с шагом один метр.

Анализ и интерпретация данных СЭМ-EDS (таблицы 4.1, 4.2 и 4.3) показывает, что латеритные грунты Гвинеи представляют собой алюмосиликатные породы, характеризующиеся дисбалансом между этими компонентами (Al, Si, Fe).

Образцы с интенсивным присутствием кварца указывают на то, что в этой породе все еще присутствует остаточный компонент.

Основные компоненты зоны вторичной цементации двух исследованных профилей были идентифицированы и количественно оценены на геохимических диаграммах (рисунок 4.4). К ним относятся элементы: Al, Si и Fe [23, 72, 115].

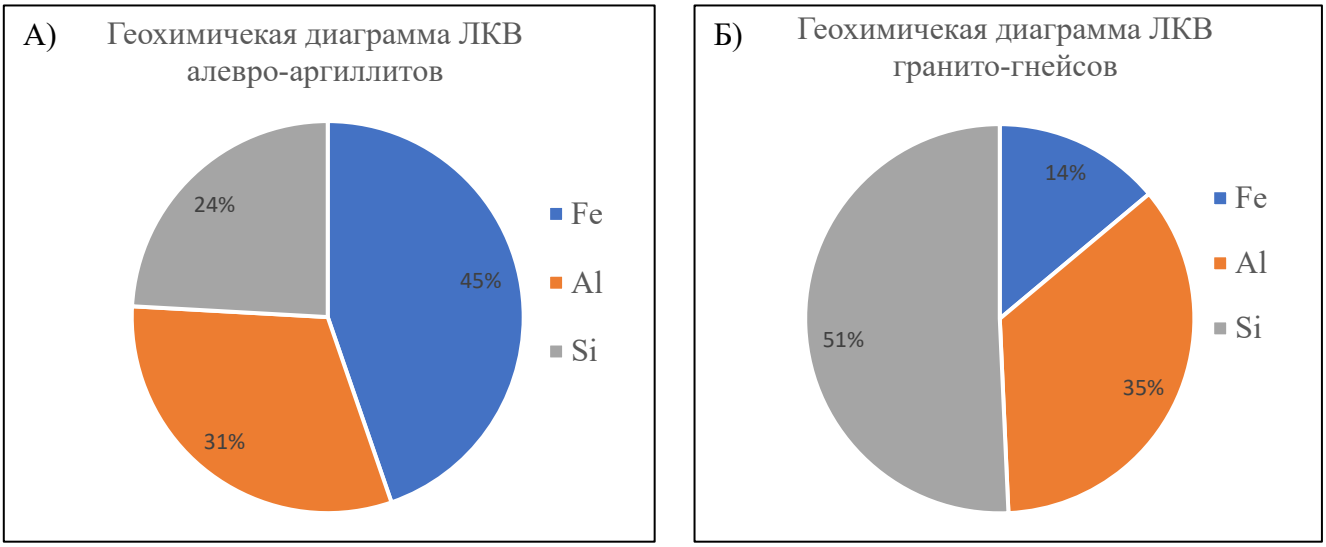


Рисунок 4.4. Геохимические диаграммы изменения компоненты вторичной зоны цементации в ЛКВ: А – силурийских алевро-аргиллитов, Б – нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Диаграммы (рисунок 4.4) показывают, что в латеритах гранито-гнейсовых пород нижнего протерозоя преобладает концентрация содержания алюмосиликатов (86%) с содержанием оксидов железа около 14% (рисунок 4.4 Б). В составе отмечено очень высокое содержание кремнезема (SiO_2), составляющее 51% от общего объема. Это обусловлено устойчивостью кварца [23], что влияет на гранулометрический состав грунта. В результате, грунт становится менее прочным, более рыхлым и легко размываются. Высокое содержание кремнезема снижает его способность связываться с оксидами алюминия и железа, которые обычно придают прочность латеритам.

В отличие от силурийских алевро-аргиллитовых латеритов, где преобладает концентрация оксидов железа (рисунок 4.4. А). Высокая степень ферралитизации способствует новообразованию железа в порах и на поверхности минеральных частиц, с концентрацией оксида железа (ферриплантида) на глубине 5 м (таблица 4.1). Это приводит к формированию цементирующих связей, что в свою очередь, увеличивает прочность грунтов в зоне вторичной цементации.

Таким образом, сравнение двух профилей иллюстрирует фундаментальный геохимический контраст, связанный с составом материнских пород.

Органогенное железо формируется в порах и на поверхности минеральных частиц (рисунок 4.5), образуя различные формы [11, 23, 51]: биоморфозы (рисунок 4.5. В), железистые биопленки (рисунок 4.5. А, Г), гематитовые «железные розы» (рисунок 4.5. Д), таблитчатые кристаллы гематита (рисунок 4.5. Б).

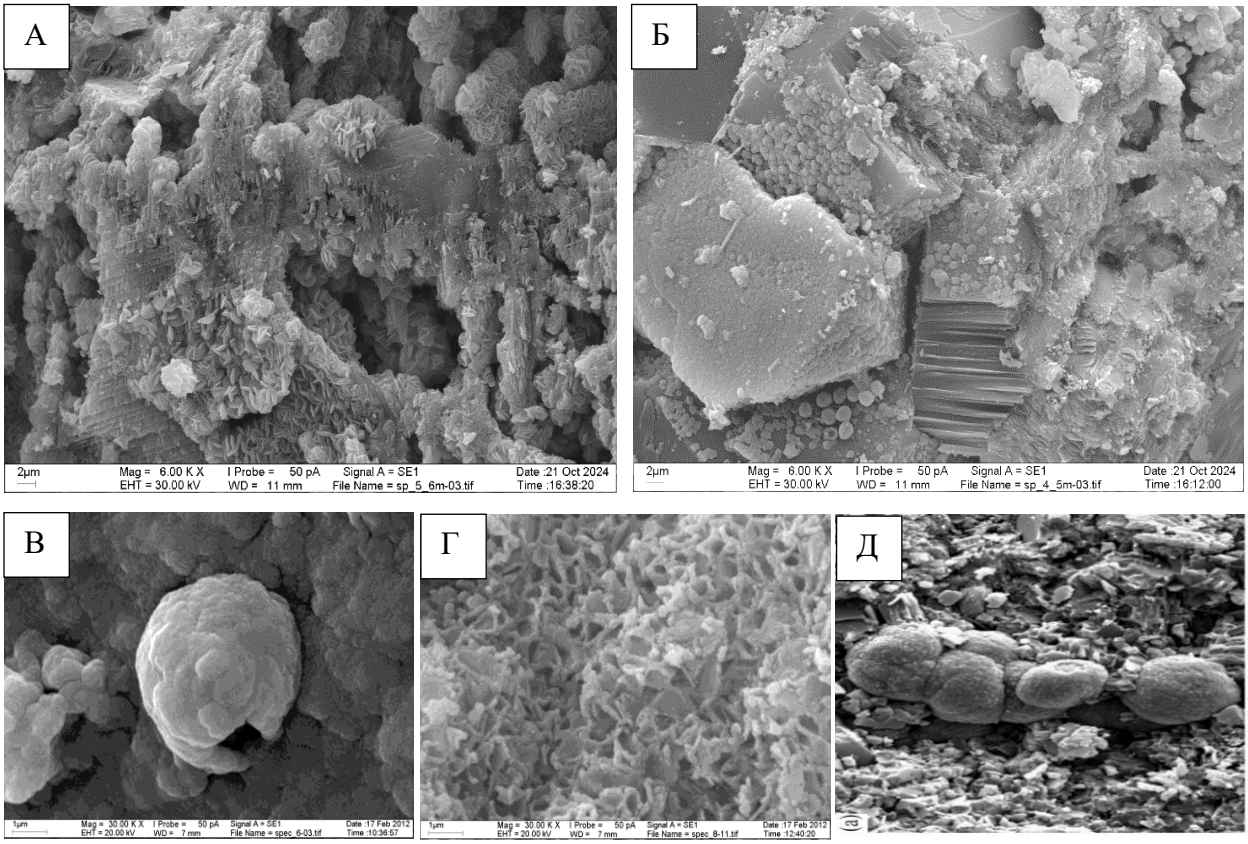


Рисунок 4.5. Формы органогенного железа в зоне цементации ЛКВ Леоно-Либерийского кристаллического массива: А,Б - по данным автора; В, Г – [23]*; Д* – [11]

Для количественной оценки присутствия органических веществ, связанных с железом,были проведены испытания на прокаливание при температуре 500° С. Результаты, выраженные разницей в массе до и после прокаливания, показаны на рисунке 4.6.

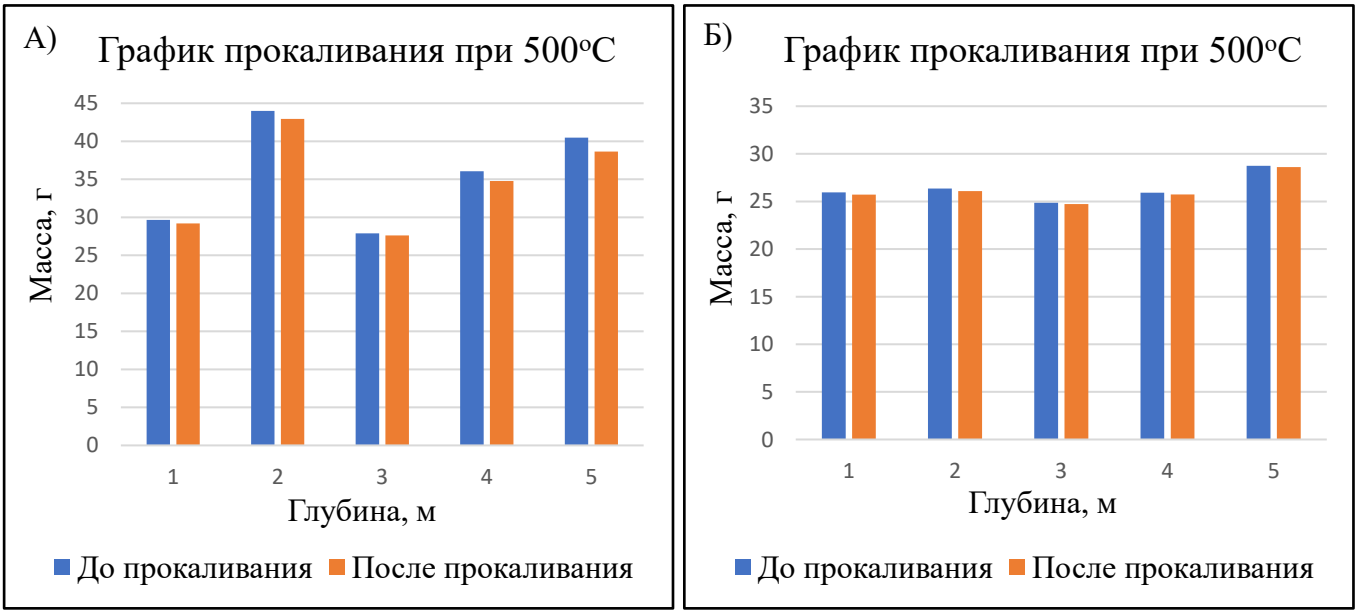


Рисунок 4.6. График прокаливания грунтов V зоне ЛКВ: А – силурийских алевро-аргиллитов, Б – нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Анализ графиков показывает, что потеря массы в анализируемых образцах остается в целом очень низкой и колеблется от 0,50% до 5,4% в зависимости от глубины, что указывает на незначительное содержание органического компонента.

Физико-механических свойств грунтов кор выветривания Гвинеи

Трансформация минерального состава, структурных связей, порового пространства отразилось на инженерно-геологических характеристиках грунтов. На рисунке 4.7 представлено распределение плотности, числа пластичности, предела на границе текучести и на границе раскатывания по глубине.

Анализ рисунка показывает, что плотность минеральных частиц изменяется в пределах 2,14 – 2,57 г/см^3 (рисунок 4.7 Б). Увеличение плотности ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов на глубине 4 м связано с концентрацией оксида железа, что фиксируется рентгенограммой (рисунок 4.7 А).

Высокие значения показателей пластичности (рисунок 4.7 В) глинисто-железистого цемента (верхний предел пластичности — 0,52-0,65; нижний предел пластичности — 0,24-0,33; число пластичности — 0,25-0,39) связаны с присутствием высокодисперсных глинистых минералов и органогенным железом, которое частично цементирует глинистый материал.

В таблице 4.4 представлены результаты гранулометрического состава ЛКВ. Анализ гранулометрического состава грунтов показал, что ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов и ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов обладают неоднородностью.

Таблица 4.4. Результаты гранулометрического состава грунтов V зоне ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов и нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Грунт	**Размер фракций, мм**			
	>10	10–5	5–2	2–0,05
ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов	4 – 64	11 – 12	9 – 4	76 – 20
ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов	1 – 25	2 – 15	7 – 12	90 – 48

Гранулометрический состав представлен обломочным материалом размером >2 мм, колеблется от 24 до 80% в ЛКВ алевро-аргиллитов, 10 – 52% в ЛКВ гранито-гнейсов. В матрице фракционный состав (фракция <2 мм) составляет 20-76% в ЛКВ алевро-аргиллитов и 48-90% в ЛКВ гранито-гнейсов.

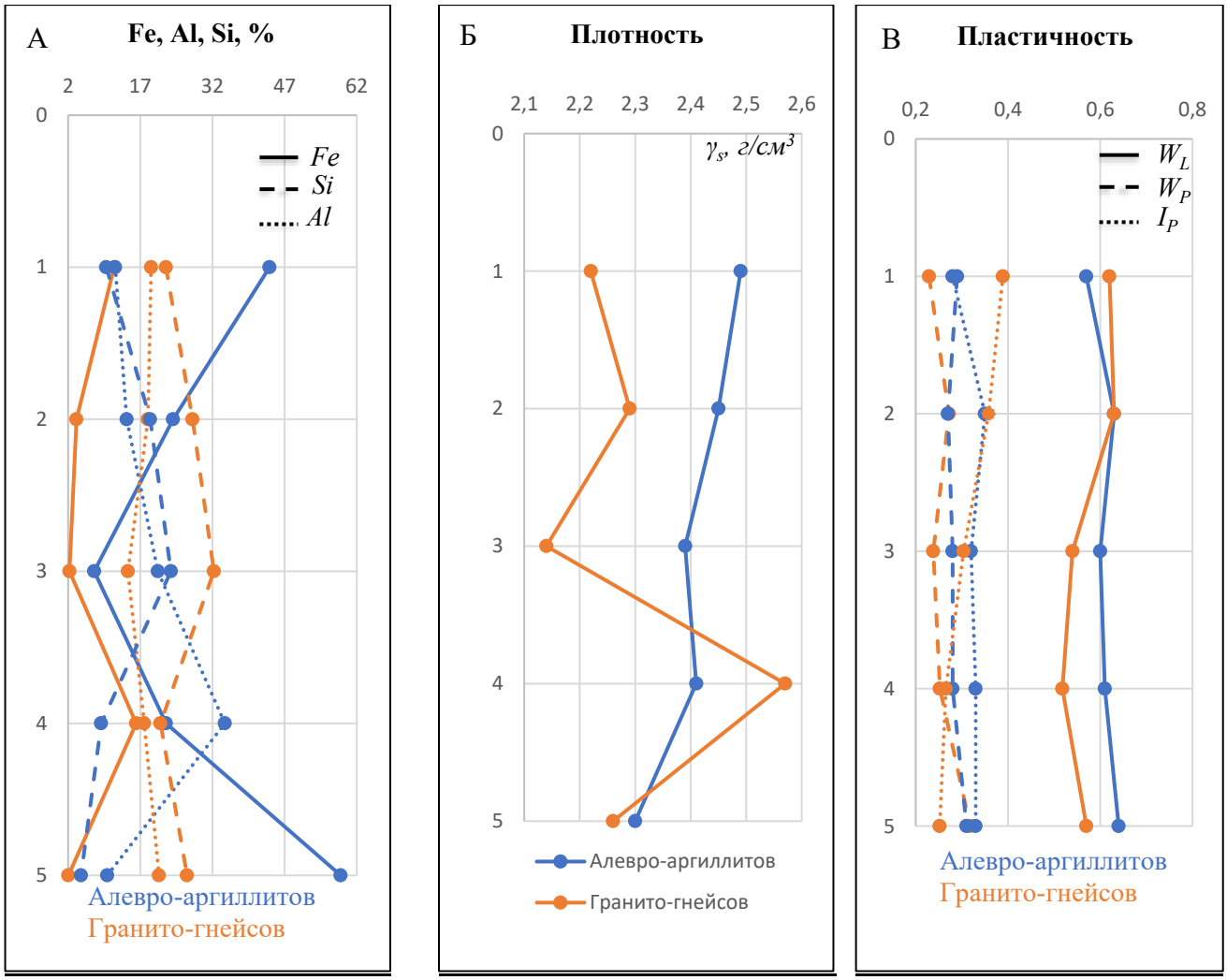


Рисунок 4.7. Изменение состава и физико-механические свойства V зоны латеритов алевро-аргиллитов и гранито-гнейсов (Гвинея)

Экспериментальные значения физико-механических свойств пород ЛКВ приведены в таблице.4.5.

Таблице. 4.5. Результаты физико-механических свойств грунтов V зоне ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов и нижнепротерозойских гранито-гнейсов

Глубина отбора пробы, м	Влажность природная, %	Плотность частиц грунта, г/см^3	Влажность на границе текучести	Влажность на границе раскатывания	Число пластичности	Одноплоскостной срез,	
						Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, кПа
	W	γ_s	W_L	W_p	I_p	ф	С
ЛКВ силурийских алевро-аргиллитов							
1	3,5	2,5	0,57	0,29	0,28	–	–
2	6,3	2,4	0,63	0,27	0,35	–	–
3	12,8	2,4	0,60	0,28	0,32	36,2	4,4
4	15,7	2,4	0,61	0,28	0,32	–	–
5	10,0	2,3	0,65	0,31	0,33	–	–
ЛКВ нижнепротерозойских гранито-гнейсов							
1	11,8	2,2	0,62	0,23	0,39	–	–
2	15,3	2,3	0,63	0,27	0,36	–	–
3	21,0	2,1	0,54	0,24	0,30	–	–
4	23,5	2,6	0,52	0,25	0,27	–	–
5	29,9	2,3	0,57	0,32	0,25	46,1	6,8

Изменение геометрии порового пространства, эффективной пористости, увеличение активной поверхности взаимодействия связаны с динамики привноса-выноса породообразующих компонентов, в первую очередь железа.

Для Vзоны ЛКВ присуще:

- неоднородность состава и физико-механических свойств (таблица 4.6)
- наследственные черты субстрата (в гранулометрическом и минеральном составе, реликтовые структуры)

Таблица 4.6. Размах значений показателей физико-механических свойств грунтов в V зоне ЛКВ Гвинейская Республика

Субстрат ЛКВ	Влажность, %			Ip, д.е	Плотность, г/см^3			n, %	E, МПа	φ, град'	C', кПа	Rсж, МПа	Показатель пенетрация
	W	W_L	W_P		ρ_s	ρ	ρ_d						
Алевро-аргиллит, Боке	3,5–5,7	57,0–64,5	29,3–31,1	27,7 – 33,4	2,3 – 2,5	2,2 – 2,3	2,0 -2,2	11,5 – 14,1	–	36,2	4,4	–	
Гранито-гнейс, Сарая	11,8–29,9	51,8-63,0	25,3- 27,2	26,5-35,8	2,1-2,6	–	–	–	–	46,1	6,8	–	
Гранит, Коя	3,5-24,2	31,8-70,3	17,4-36,4	14,4-35,7	2,2-2,4	–	–	–	–	30,2	34,9	–	
Долерит, Киндия	1,6-10,1	46,7-57,0	24,7-30,2	16,5-32,3	2,3-2,7	1,6-2,6	1,6-2,6	10,5-38,9	–	–	–	–	
Долерит, Боке	4,7-20,5	57,7-83,2	29,4-32,5	28,3-50,7	2,1-2,3	–	–	–	–	–	–	–	
Алевро-аргиллит, Гобирэ	10,5-35,3	53,5-70,0	27,7-36,4	25,8-33,6	1,5-2,4	–	–	–	–	29,5	17,5	–	
Алевро-аргилит, Боке*	0,8-19,4	24,5-54,7	11,8-33,5	12,8-21,2	2,5-2,7	2,1-2,4	2,0-2,1	16,0-28,2		34	56	11.6	100R
Дунит, Конакри *	11,5-15,9	–	–	–	2,4-2,7	2,4-2,7	2,3-2,4	3,1-18,7	72,7-168,2	–	–	4,3-6,5	
аргиллит, Канкан*	8,4-13,6	–	–	–	2,1-2,6	2,2-2,3	1,9-2,1	7,5-21,9	92,4-254,2	–	–	10,5-12,7	
аргиллит, Киниеро*	3,5-12,1	–	–	–	2,3-2,7	2,1-26	2,0-2,3	3,4-23,2		59,4	1,3	8,4-17,7	50
Песчаник, Боке по [27]	4,0-18,0	30,0	20,0	–	2,8-3,2	1,8-2,4	–	–	–	–	–	3,4-9,0	
Долерит, Боке по[26]	4,0-5,0	–	–	–	3,0-3,2	1,8-2,4	–		22,0	–	–	3,9-10,1	

* По данным Geotec-Guinée, W – естественная влажность, W_L – влажность на границе текучести, W_P – влажность на границе раскатывания, Ip – число пластичности, ρ_s – плотность минеральных частиц, ρ – плотность грунта, ρ_d – плотность сухого грунта, n – пористость, E – модуль деформации, φ – угол внутрения, C– удельное сцепление, Rсж – предел прочности на одноосное сжатие; – нет данных.

Латеритный, карбонатный, железистый карст

Карст при формировании ЛКВ реализуется как составная часть процесса выветривания (Г. А. Максимович, 1979) [17]. Г.К. Бондарик обозначил такое сочетание – «парагенезисом процессов»: совместным развитием процессов, связанных общностью условий, времени и места.

Причиной современного развития этих процессов является *миграция алюминия и железа* в органогенной форме, под влиянием атмосферных и подземных вод. В сезон дождей в Гвинеи выпадает до 3000мм атмосферных осадков. Уровень грунтовых вод с глубин 42–50 м, поднимается до глубин 2–14м (рисунок 4.8). Уровень грунтовых вод в ЛКВ является геохимическим барьером, создающим в зоне гипергенеза смену окислительно-восстановительных условий и накоплении аномальных концентраций новообразований железа (*феррилантит*) и алюминия (боксит). Процесс сочетает химическое растворение и механический вынос (суффозию) материала из-под твердых поверхностных слоев, обогащенных железом**.**



Рисунок 4.8. Латеритная кора выветривания: темные слои - кираса.

Миграция железа в органогенной форме (см. раздел 4.1), сопровождается изменением порового пространства на микроуровне, макроуровне и мезоуровне (рисунок 4.9). Движению подземных вод в массиве коры выветривания свойственны: эффект двойной пористости, фильтрационная анизотропия, связанные с наличием трещин, пор, каверн. На пути наиболее активной латеральной разгрузки подземных вод образуются крупные полости.



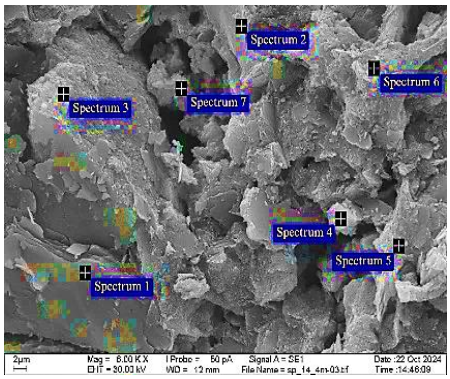
Каверны

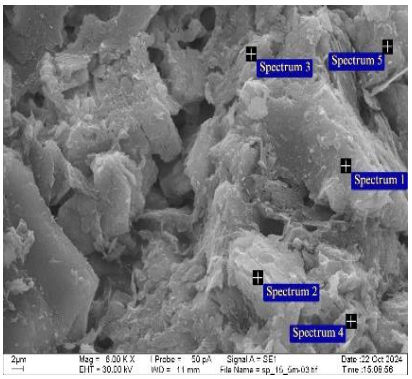


Воронка



Пористость





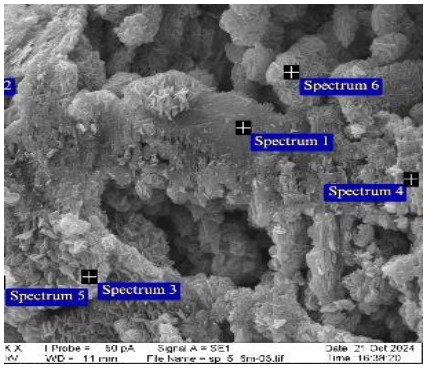


Рисунок 4.9. Поровое пространство на макро- и микроуровне, ЛКВ района Боке

Анализ результатов полевой документации бокситоносной коры выветривания по 25 шурфам глубиной 10-12м, представлен на рисунке 4.10 и свидетельствует о том, что в пределах зоны гипергенеза (V зоне латеритной коры выветривания) пористость и кавернозность *характерны* для всего разреза, при этом

- ✓ размер каверн варьирует в широких пределах – от 2 до 30см,
- ✓ преобладают каверны размеров 2–5 см,
- ✓ формированию каверн способствует трещиноватость пород, обеспечивающая их проницаемость; ширина ожелезнённых трещин варьирует от 5 до 50 см,
- ✓ с поверхности развиты карманы, глубиной 3м и более,
- ✓ в нижней части шурф вскрыл 5-метровую полость.

Интервал Глубины шурфа, м	Размер каверн, раскрытия трещин см, карманов, полостей									
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-50	Карманы(V) полости (П)
0-2										V –50см
2-4										V – 3м
4-5										V – 3,2м
5-6										
6-8										П – 5м
8-10										
10-12										

*Рисунок 4.10. Кавернозность и трещиноватость бокситоносной ЛКВ по глубине (по документации 25 шурфов): Обозначения: точки •**®® – каверны, © – трещины, V – карманы, П – полости*

Во время строительства высоковольтной линии Самбангалу ГЭС на северо-западе Гвинеи были обнаружены карстовые пустоты геофизическими методами на 37 участках размещения опор ЛЭП (рисунок 4.11) [100].

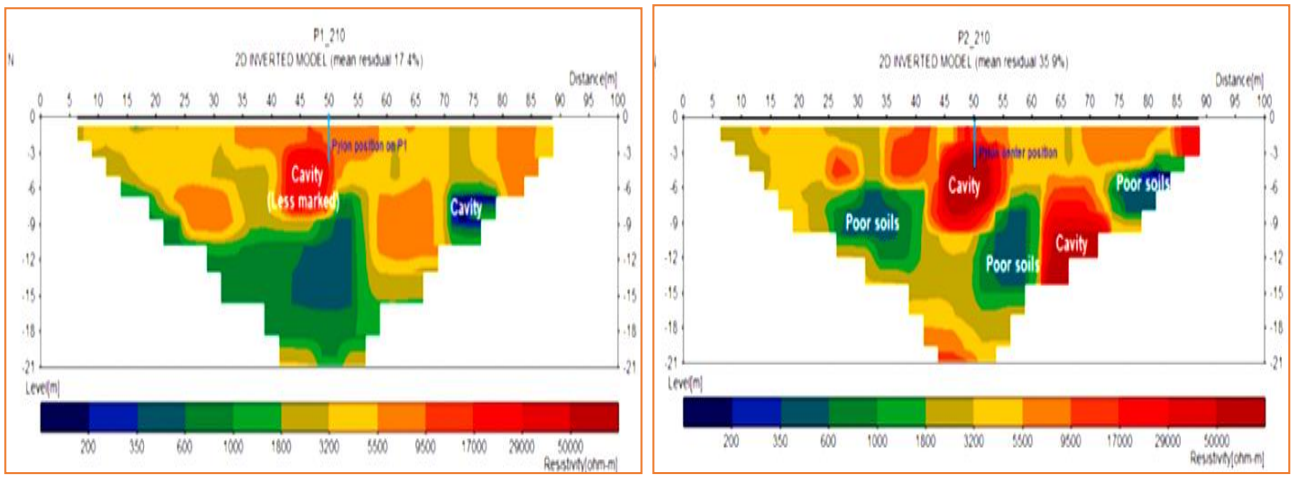


Рисунок 4.11. Карстовые полости в грабене Руфа по данным электротомографии и подземного георадара [100]

Владимиром Ибрагимовичем Мамедовым, на месторождении Débélé задокументирована карстовая воронка из которой открывался вход в подземную галерею протяженностью 15 м (рисунок 4.12) [31]. Дно галереи покрыто глыбами мелкими обломками бокситов и суглинистым материалом.

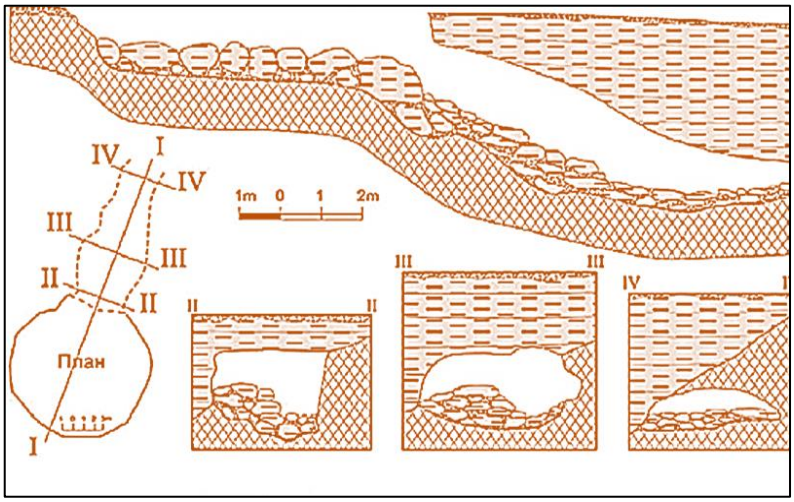


Рисунок 4.12. Современные суффозионно-карстовые явления [31]

Провальные воронки обычно с обломками местных пород встречаются почти во всех шурфах, пройденных на десятках месторождений бокситоносной провинции (таблиц 4.13) [31].

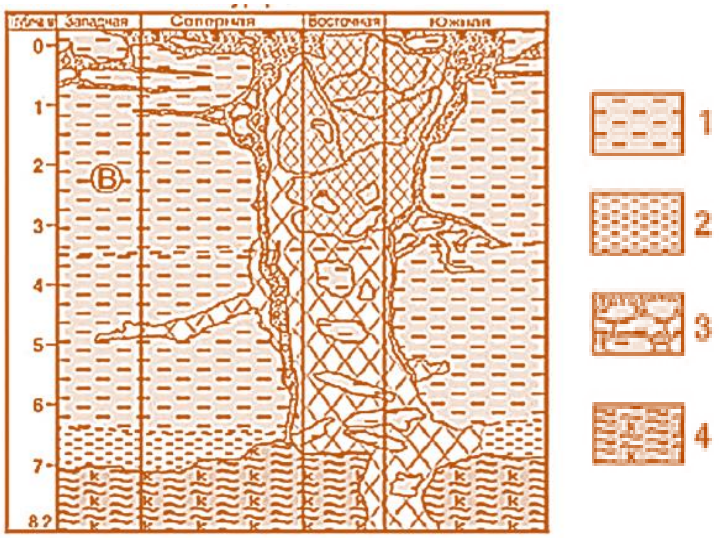


Рисунок 4.13. Строение провальной воронки в бокситоносных ЛКВ на месторождении Débélé [31]*: 1 — каменистые бокситы; 2 — железистые бокситы и латериты; 3 — глыбы и обломки бокситов с почвенным материалом в суффозионно-карстовых полостей; 4 — каолинитовые глины*

На высоком плато Фута-Джаллон (абс. отм. 977–1112м), сложенном песчаниками, аргиллитами, алевролитами, доломитами (Rr-Vmk) и перекрытыми ЛКВ, в строении которой выделятся: слои песчано-глинистой почвы, разрушенной кирасы (латеритного гравия), ниже которого следует пятнистая зона, с обломками субстрата и измененные материнские породы (рисунок 4.14 и 4.15). Полости (рисунок 4.16), диаметром до 5 м [100], практически полые или

частично заполнены водонасыщенным тонкодисперсным грунтом. Подобные суффозионно-карстовые процессы развиваются на протяжении длительного формирования латеритной коры выветривания.

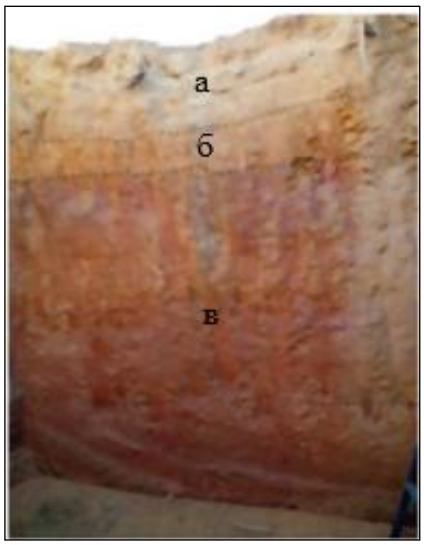


Рисунок 4.14. Зональность строения латеритов [100] *: а) песчано-глинистые грунты, б) разрушенная кираса (латеритный гравий) 0,2м, в) пятнистая затвердевшая зона (2м)*

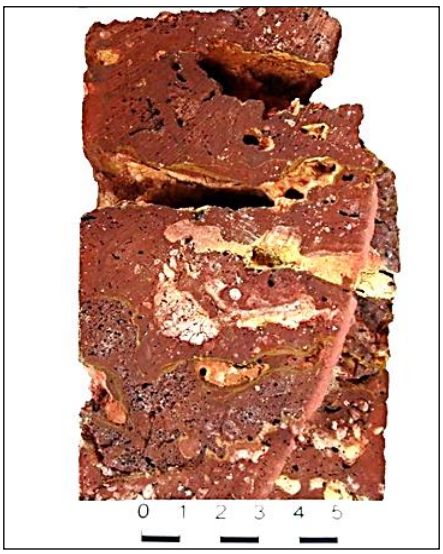


Рисунок 4.15. Разрушенная кираса: ферраплантит сургучно-красный с пустотами и замещениями глиноземом (светлый цвет) [31]

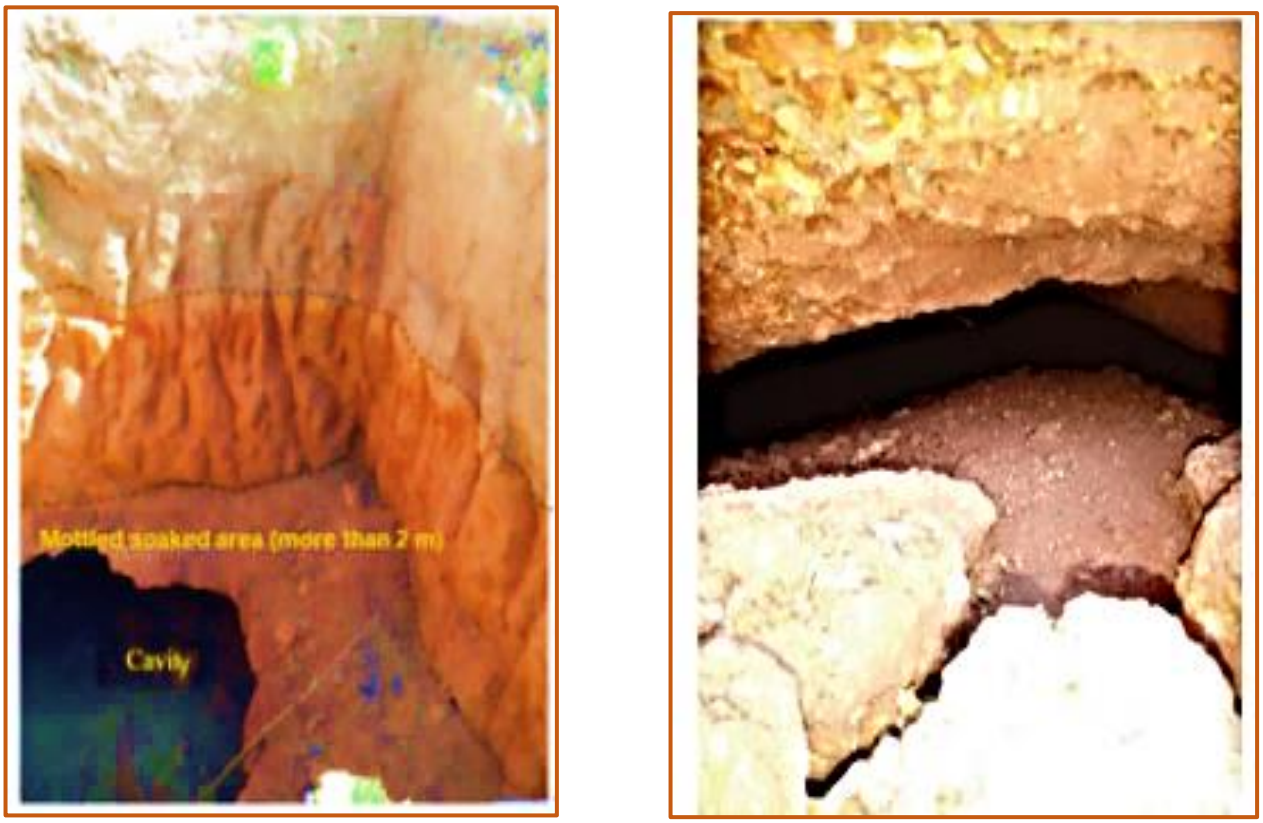


Рисунок 4.16. Карстовые полости в латеритной коре выветривания Гвинеи: под кирасой (желтый цвет), частично заполненные водонасыщенными глинами [100]

Приведённые данные свидетельствуют о повсеместном развитии процесса карстообразования с формированием разнообразных карстовых форм. Эти подземные пустоты способствуют потоку вод, обогащённых органическими и неорганическими кислотами, что содействует прогрессивному развитию парагенезиса процессов выветривание – карст.

Карстовый процесс, при котором одновременно с образованием полостей происходит формирование в них рудных скоплений, в следствие миграции железа.

Автором предлагается более адекватное название процесса – «*Латеритный карст*», по составу карстующихся пород – латеритов (см. раздел «Выветривание»).

Карбонатный карст

Карбонатный карст, так широко распространенный в тропических условиях Вьетнама (пещеры и гроты Ха-Лонга), Мьянмы (плато Шан), Лаоса, Новой Гвинеи, неизвестен в Гвинее, что связано, по-видимому, с весьма ограниченном распространении терригенно-карбонатной формации верхнего протерозоя на северо-западе страны.

Железистый карст

В геологической литературе фигурирует термин «Карст железистый». Термин не является стандартным и используют при описания процесса выноса обломочного и растворенного материала из-под железистых образований (кирас) в тропических и субтропических регионах под воздействием подземных вод, что и приводит к формированию разнообразных карстовых форм: подземных каналов, ниш, каверн, пещер и воронок [54].

Железистый карст (рисунок 4.17) действительно широко развит в коре выветривания джеспилитов крупных рудных провинциях Австралии районе Пилбара (Pilbara), Бразилии «Железный четырехугольник» (Quadrilátero Ferrífero) – с ресурсами в 3 трлн. Т [69], Новой Гвинеи.



Рисунок 4.17. «Карстовые башни» в стенке карьера, район Lagoo Santa, Бразилия

Каражасе (Carajás) Бразилии зарегистрировано более 1000 пещер преимущественно неглубоких и короткие (около 30 м). Пещеры, длиной более 300 м, представляют собой отдельные полукруглые, воронкообразные или прямые камеры, связанные проходами различного размера. Внутри пещер обломочные отложения состоят из обрушившихся обломков пород потолков и стен. Пещеры сухие с нерегулярными сечениями, а также с колоннами, подвесками и световыми люками [67, 68, 112]. Соединительные канальцы, одна из главных характеристик этого типа пещер, образуют обширную сеть, соединяющую макро-, мезо- и микропещеры [114] .

В Гвинее крупнейшим является железорудное месторождение. Месторождение Симанду исследовано в 50-е годы прошлого века российскими геологами: А. Борисенко, В. Бученков, В. Веригин, А. Карлович, Е. Каршин, Ф. Котов, М. Лопухин, И.В. Мамедов и др. В коре выветривания итабиритов — разновидности железистых кварцитов с содержанием железа до 50%, выделяются две зоны: верхняя – крепких гематит-гётитовых руд и нижняя – рыхлых порошковатых гематитовых (мартитовых) руд (рисунок 4.18).

Симанду молодое, гипергенного происхождения месторождение рыхлых мартитовых, лимонитовых и крепких гётит-гематитовых руд, которые составляют пространственную сопряжённость (сонахождение) материнских итабиритов и продуктов выветривания, представляющих закономерную последовательность зон латеритной коры выветривания [4]. Крутопадающие неоднородности итабиритов (полосчатость, трещины кливажа) способствовали неравномерному и местами глубокому проникновению метеорных вод.

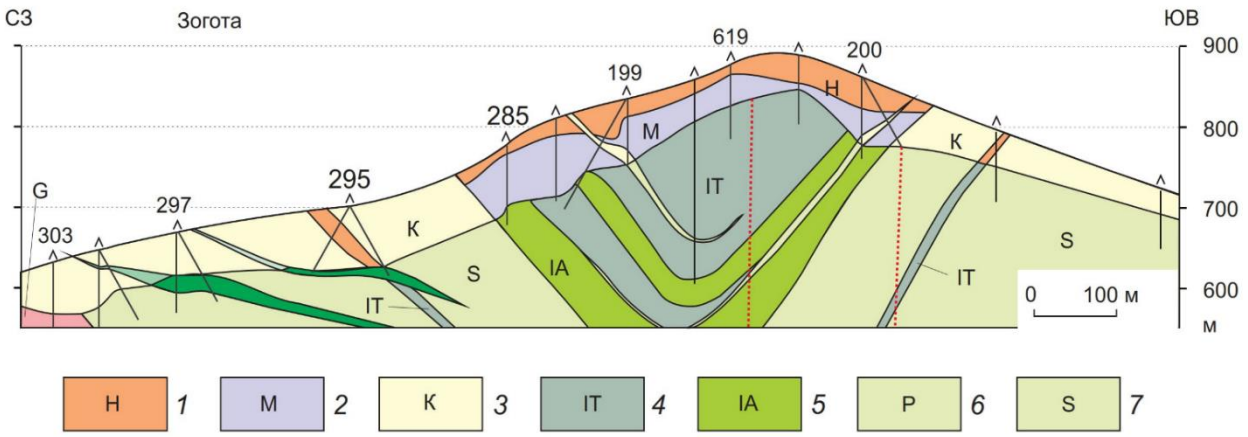


Рисунок 4.18. Геологический разрез участка Зогота, Гвинея [3]*: 1 – крепкая гематит-гётитовая руда; 2 – рыхлая мартитовая руда; 3 – каолинизированные породы (филлиты, сланцы, гнейсы); 4, 5 – итабириты; амфиболовые итабириты; 6 – филлиты; 7 – слюдяные сланцы.*

Итабириты – это плотные, крепкие, полосчатые породы кварц-магнетитового состава (рисунок 4.19) с объёмной массой от 3,1 до 3,8 г/см^3, среднее значение – 3,34 г/см^3; минеральный состав кварца 40–64 об. %, магнетита 39–27 об. %, а в составе в массовых процентах преобладает магнетит. кварца – 2,65 г/см^3, магнетита – 4,9–5,2 г/см^3.

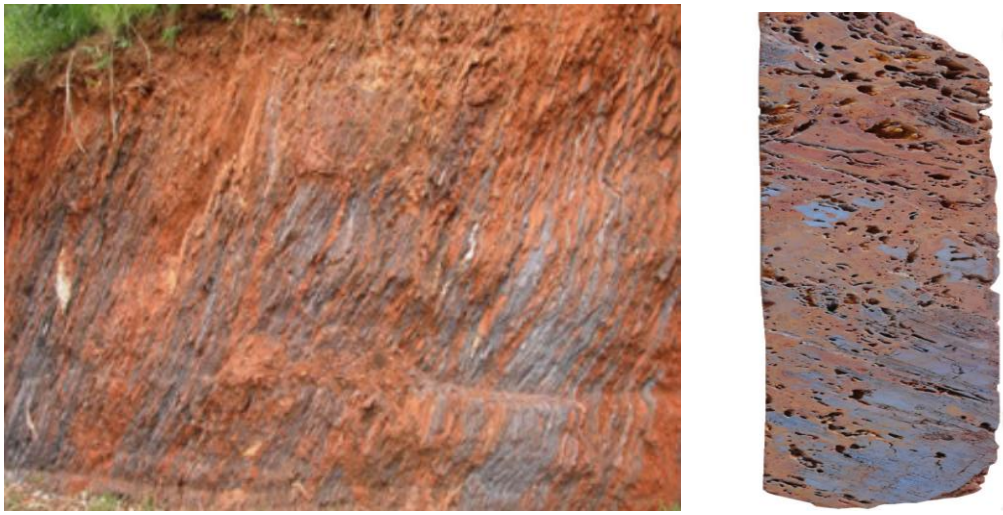


Рисунок 4.19. Итабириты (борт карьера) и замещение полосчатого стально-серого мартита кавернозным гётитом (керн) [31]

Феномен: в ЛКВ почти полное выщелачивание кварца из итабиритов с образованием рыхлой мартитовой руды при отсутствии сопряжённых скоплений переотложенного кремнезёма.

Информация о железистом карсте, широко развитом на месторождениях Каражаса Бразилии, как о специфической геологической особенности, затрудняющей добычу руды, на месторождении Симанду – отсутствует.

С 2026г. месторождение Симанду уже разрабатывается китайскими компаниями. Горные работы повышают риск развития карста.

4.2. Роль коры выветривания в формировании генетических типов четвертичных отложений

Коры выветривания играет исключительно важную роль в формировании генетических типов четвертичных отложений. ЛКВ Гвинеи являются «донором» осадочного материала при формировании четвертичных отложений различного генезиса. По А.П. Павлову, генетический тип — это отложения, сформировавшиеся в результате деятельности определенных геологических агентов. В минеральном составе делювиально-пролювиальных, пролювиально-аллювиальных, аллювиальных, аллювиально-озерных, морских позднеплейстоценовых и голоценовых образований аккумулируется обломочный и дисперсный материал, а также часть растворенных соединений, вынесенных из коры выветривания, обогащённых гидроокислами железа (рисунок 4.20, 4.21).

Каждому из генетических типов свойственны особая форма залегания, их пространственная и генетическая связь с определенными формами и элементами рельефа, а также стадиями их развития латеритной коры выветривания (таблица 4.7).

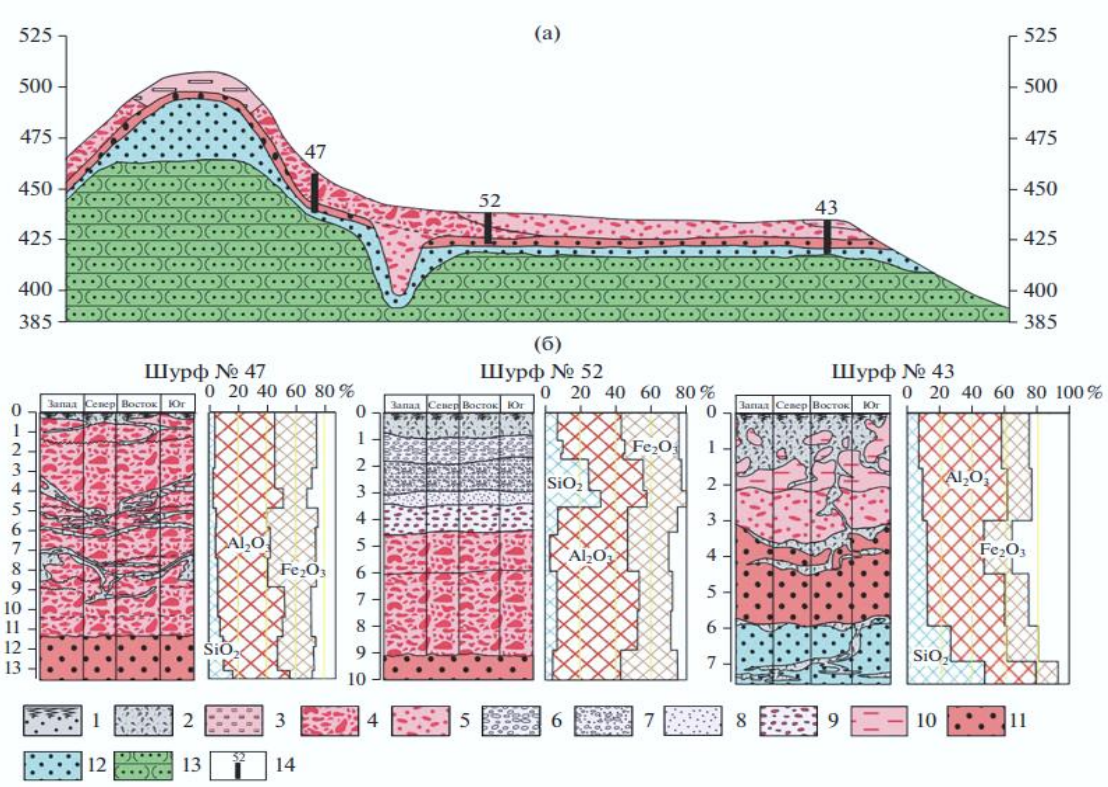


Рисунок 4.20. Геологический профиль и шурфы, месторождения Меенги [32] *: 1 – почвенный горизонт; 2 – эоловые супеси с обломками местных латеритов; 3-11 – Бокситы: 3 – бокситы псевдоморфные по алевро-аргиллитов силура; 4 – бокситы по делювию склонов; 5- 11 – бокситы по аллювию: 5 - обломочному; 6-7 – бокситизированные галечники; гравийно-песчаные отложения; 8 – латеритизированные пески грубые кварцевые; 9 – конгломератовидные бокситы с остатками кварцевого песка; 10 – пелитоморфные по аллювиальным глинам. 11 – бокситы по песчаникам ордовика с остаточным кварцем. 12 – пески псевдоморфные по песчаникам ордовика. 13 – песчаники кварцевые грубо разнозернистые*

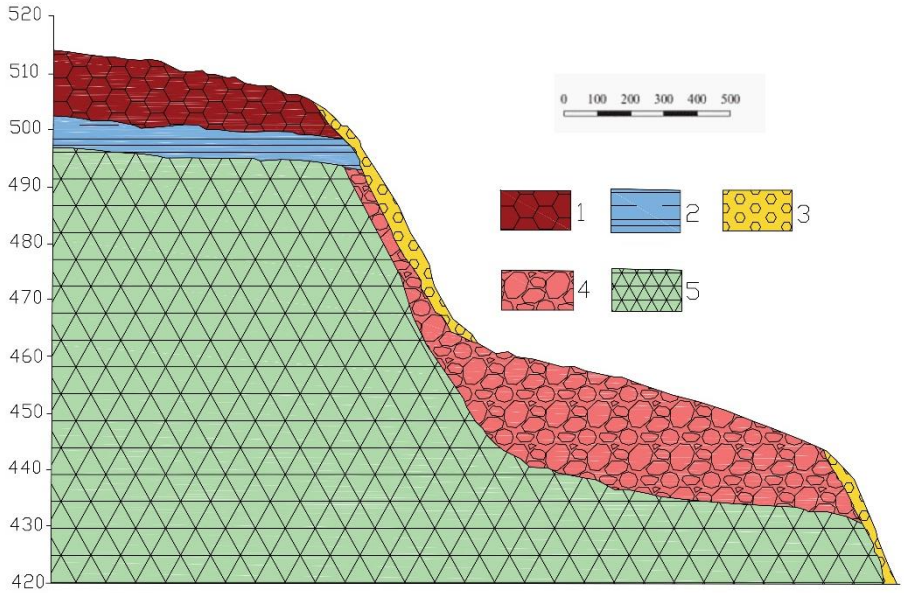


Рисунок 4.21. Геологический профиль м-ния Дебеле [32], *отредактировано автором: 1– бокситы и кираса; 2 – дисперсная зона; 3 – делювиальные суглинки с обломками латеритов и бокситов; 4 – делювиально-пролювиальным образованиям– обломочные бокситы; 5 – субстрат: алевро-аргиллиты силура*

Таблица 4.7. Распространение генетических типов четвертичных отложений на территории Гвинеи

Геоморфология			Четвертичные отложения: состав, мощность	Латеритная кора выветривания
Морфология и морфометрия	**Возраст**	**Местоположение**		
Высокая терраса рек Milo, Tinkisso абс. отм. 640–720м	Плиоцен N_1^3	Долины рек Dion, Tinkisso, Milo и др.	Аллювий: галька идеально окатанная, кварцевого (60–70%) состава, покрытая железистой рубашкой; мощность 6-8м.	*Переотложенная ЛКВ* С поверхности аллювий бронирован к*ирасой, мощностью 2-3,5м*
II-ые террасы долин рек абс. отм. 20-25м	Средний плейстоцен Q_{II}	Фрагментарно: прерывистые полосы шириной 300–1500м, вдоль долин рек	Аллювий: мелким обломочный аллювием, мощностью 5 –7 м, представленным кварцем и латеритом. Кровля сцементирована гидроокислами железа с образованием кирасы.	*Погребённая ЛКВ.* Площадная ЛКВ *распространена* фрагментарно. С поверхности аллювий бронирован кирасой, мощностью 1,0–1,25 м
I-ые надпойменные террасы высотой абс. отм. 8-10м	Поздний Плейстоцен Q_{III}	Ширина террас 400м, крупных - первые км	Аллювий: супеси и суглинки, с большим количеством латеритного обломочного материала, закономерно увеличивающимся вверх по разрезу. Мощность 12–13 м	*Переотложенная ЛКВ.*
II морская терраса абс. отм. 10-30м	Средний Плейстоцен Q_{II}	Приморская равнина	Полигенетические (морские-аллювиальные, озёрные) пески кварцевые, мелко- и среднезернистые, с. включения плоскоокатанной мелкой гальки. мощностью 20–23м, перекрывают пестрые каолиновые глины миоцена	*Площадная ЛКВ распространена фрагментарно* С поверхности аллювий латеритизирован и бронирован кирасой средней степени твердости, мощностью 2,5м
Мангровые побережья и пляж абс. отм. 0-10м	Голоцен Q_{IV}	Полосы мангр шириной 6–8 км; пляжи, разделены эстуариями рек	Морские пески кварцевые, с обломками кирасы, суглинки мягко пластичные, супеси и текучие илы. Мощность 5 м	*Погребённая ЛКВ.* кираса (до 1 м), латеритные грунты (1–5 м), каолиновые грунты (3–12 м), сильно выветрелые песчаники (0,5–5м), трещиноватые песчаники (5–8 м). Мощность общая 25м
Склоны хребтов абс. отм. 500–510 м	Q_{II-IV-}	Выположенные ступени склонов хребтов Simandou, Nimba и Zogota и у их оснований	Коллювий и делювий, сменяются делювиально-пролювиальным и пролювиально-аллювиальными грунтами, глыбами и обломками гематитовых и гетит-гематитовых руд, сцементированных железистым латеритным материалом Мощность 38м	*Переотложенная ЛКВ Кирасы, с почковидными натечными ноздреватыми и обломочными текстурами.*

Выводы

На территории Гвинеи ЛКВ можно рассматривать как составную часть природно-технической системы. Она формируется на разных типах субстрата (магматическом, осадочном и метаморфическом), что является ключевым фактором, влияющим на инженерно-геологические условия территории и, следовательно, на выбор места строительства зданий и сооружений.

1. На современном этапе развития латеритной коры выветривания Гвинеи наблюдается эволюция литосистемы, являющейся открытой с неустановившимся режимом.

2. Трансформация коры выветривания определяется миграцией железа, под влиянием атмосферных и подземных вод.

3. Изменение геометрии порового пространства, эффективной пористости, увеличение активной поверхности взаимодействия связаны с динамики привноса-выноса породообразующих компонентов, в первую очередь железа.

4. Типоморфными элементами латеритной формации Гвинеи является гематит, гиббсит, каолинит. Железо в органогенной форме формируется в порах и на поверхности, в виде биоморфоз, пленок, кристаллов гематита.

5. Беспорядочная структура минерального состава обуславливает высокую степень неоднородности гранулометрического состава, состояния и физических свойств.

6. Изменение эффективных структурных связей пород (от кристаллизационных до коагуляционных) определяет изменение прочностных, деформационных свойств. В связи с неоднородной цементацией крепость пород изменяется в широких пределах: слабые — разрабатываются киркой, крепкие — пневматическим молотком.

7. Причинами современного развития парагенезиса выветривание-карст является динамика подземных вод, миграция железа, геохимический барьер, предопределяющие структурно-минеральные преобразования, изменение порового пространства и, в целом, создающие неоднородность строения V зоны вторичной цементации ЛКВ.

8. Полости карстово-суффозионного типа в латеритной коре выветривания являются результатом трансформации коры выветривания на современном этапе развития ЛКВ. Автором предлагается термин – «*Латеритный карст*», по составу карстующихся пород – латеритов.

9. ЛКВ является источником всего многообразия четвертичных отложений страны: аллювиальных, делювиальных, морских, что делает её ведущим фактором региональной изменчивости инженерно-геологических условий.

На основе изложенного материала сформулировано второе защищаемое положение (страница 6).

Глава 5. Принцип составления специальных инженерно-геологических карт Гвинейской Республики

5.1. Современные подходы к инженерно-геологическому районированию

Инженерно-геологическое районирование является важнейшим методом систематизации знаний о инженерно-геологических условиях территории, оценки их сложности.

Уже почти сто лет сообщество инженеров-геологов работает над методикой инженерно-геологического картирования. Проблема инженерно-геологического районирования привлекала внимание многих инженеров-геологов: Г.И. Архангельский (1937), .И.В. Попов (1950), Л.Д. Белый (1964), Н.В. Коломенский (1968), М.В. Чуринов (1968), Е.М. Сергеева (1972), Г.С. Золотарев (1973), И.С. Комаров (1977, 1978), Г.А. Голодковская (2007), Г.К. Бондарика (1986, 2011), В.Т. Трофимов, Т.И Аверкина, А.С. Герасимова, Н.С. Красилова (1994, 1997, 2001, 2024), А.Е. Рыбалко и др. (2021), K.M. Portance and al. (2018, 2019), P. Zhyrnov and I. Solomakha (2022), A. Aboubakar and al. (2025), и др.

И. В. Попов, стоявший у истоков региональной инженерной геологии, заложил методологические основы инженерно-геологического картирования и районирования [40–43]. Он разработал принципиальную схему классификации пород по инженерно-геологическим признакам, систематику карт по масштабному ряду, а также литолого-генетического и формационного принципов картирования. И.В. Поповым предложена система однорядного последовательного районирования, основанная на иерархии соподчинённых таксономических единиц — регионов, областей, районов и подрайонов. Этот подход долгие годы используется при проведении инженерно-геологического районирования разных регионов и стран. Многие авторы внесли свой вклад в развитие идей И. В. Попова, в принципы и способы представления.

Важную роль в объединении взглядов на инженерно-геологические карты сыграл Н. В. Коломенский. В учебнике «Общая методика инженерно-геологических исследований» им приведены классификации карт по масштабу и содержанию (таблица. 5.1), а также описаны идеология и примеры созданных карт.

Таблица 5.1. Классификация инженерно-геологических карт по содержанию [22]

	Аналитические карты	**Синтетические карты**
1. Частные	А) Инженерно-геологических условий	
	Б) Инженерно-геологического районирования	
2. Общие	А) Инженерно-геологических условий	Унифицированные карты инженерно-геологических условий
3. Специализированные		Карты инженерно-геологического районирования

В 1970 году рабочая группа Международной ассоциации инженеров-геологов разработала руководство по созданию инженерно-геологических карт, опубликованное в 1976г. в Париже на английском языке. В ней представлена методология создания инженерно-геологических карт, классификация инженерно-геологических карт, принципы их разработки, а также примеры инженерно-геологических карт в разных масштабах.

В 1986-1990г. под руководством Л.А. Ярг разработана методика специального районирования температурно-влажностных классов (TWK) кор выветривания Земного шара, реализованная для Евро-Азиатского, Африканского и Австралийского континентов с пояснительной запиской.

Достойным продолжателем развития положений И. В. Попова являются теоретические основы В. Т. Трофима. Учитывая важнейшие закономерности зонального изменения инженерно-геологических условий крупных геолого-структурных зон земной коры, В. Т. Трофимов ввел более широкую гамму таксономических единиц районирования с учетом широкого распространения криолитозоны на территории России. Систематика типов инженерно-геологического районирования, разработанная В. Т. Трофимом [57], приведена на рисунке 5.1.

С 1991г В.Т. Трофимовым были выполнены принципиально новые разработки, опубликованные в многочисленных монографиях: «Инженерно-геологические структуры Земли» [58, 59]; Карта типов инженерно-геологических структур Земли М1:35 000 000, основанная на совместном учёте зональных и региональных факторах и сопровождаемая таблицей- решеткой, носящей диагностический и прогнозный характер; «Карты инженерно-геологического районирования Северной Евразии масштаба 1:4 000 000» [61]; «Инженерно-геологические структуры территории России» [2]; «Развитие теоретического базиса инженерной геологии и её научных направлений» [60].

Инженерно-геологических карт нового типа с применение геоинформационных технологий, основанных на использовании, ГИС [66, 118], позволяют хранить большие объемы

информации, анализировать состояние геологической среды, создавать инженерно-геологические карты.

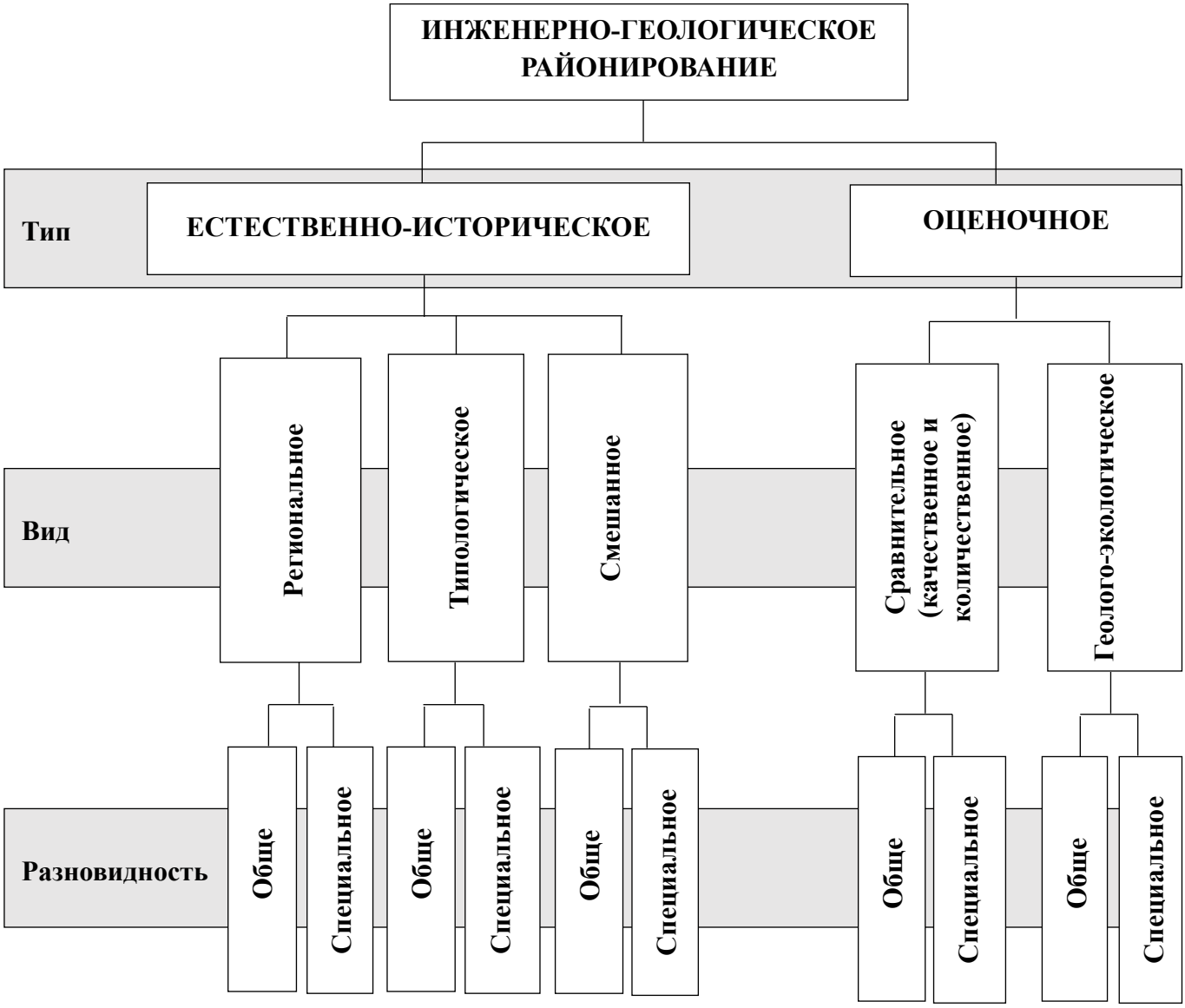


Рисунок 5.1. Систематика типов инженерно-геологического районирования, по В.Т. Трофимову

Новые задачи региональной инженерной геологии, сформулированные В.Т. Трофимовым: «… необходимо исследовать и описать инженерно-геологические условия всех современно выделяемых геотектонических обстановок. Прежде всего, принципиально новых — континентальных окраин и океанов; изучить и описать новые формации и формационные ряды…; пересмотреть, в связи с этим используемые в инженерной геологии систематики формаций, по существу, создать новые. Принципиально важно, чтобы региональная инженерная геология не ограничивалась изучением территории только одной России — она должна охватывать всю Землю. Это позволит выявить все возможное многообразие типов инженерно-геологических обстановок (структур), даст целостную картину пространственного и временного изменения инженерно-геологических условий Земли» [60].

5.2. Методика специального инженерно-геологического районирования Гвинеи

Актуальность инженерно-геологического районирования территории Гвинеи определяется целями программы Симанду 2040 (Simandou 2040). Динамичное экономическое развитие Гвинеи, сопровождающееся масштабным строительством инфраструктурных и промышленно-гражданских объектов, делает инженерно-геологическое районирование территории страны насущной научно-практической задачей. Составление такой карты позволит систематизировать накопленные геологические данные и представить их в формате, пригодном для непосредственного применения при проектировании. Практический эффект районирования — оптимизация объёмов и состава изыскательских работ, своевременное выявление территорий с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, как следствие, снижение стоимости и повышение надёжности строительства.

Построение схематической карты инженерно-геологического районирования Гвинейской Республики – цель нашей исследовательской работы.

По мнению В. Т. Трофимова, «инженерно-геологическое районирование – это выявление в сложной и многосторонней геологической среде на основе совокупности теоретических пониманий и методических приемов системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, ограничение их от территорий, не имеющих этих признаков, систематика, картографирование, описание» [57].

При инженерно-геологических исследованиях используются два подхода инженерно-геологического районирования территории: 1) система однорядного (последовательного) районирования; 2) двухрядная (перекрестная) система районирования. Принципы первой системы использованы автором.

Инженерно-геологические карты классифицированы: - по практическому назначению – на общие и специальные; - по содержанию – на аналитические и синтетические; - по масштабу – крупно- (М 1:10000 и выше); средне- (1:10000 –1:100000), мелкомасштабные (1:100000 и ниже). Карта, составленная автором, относятся к мелкомасштабной, специальной, аналитической.

Инженерно-геологические работы на территории Гвинеи ведутся в основном по индивидуальным проектам. Единственной работа, проведенная в 1991 года [119], геотехническое картирование территории г. Конакри и его окрестностей.

Инженерно-геологическое районирования территории Гвинейской Республики выполняется в определенном порядке и включает в себя ряд этапов (рисунок *5.2*):

1. Анализ существующей геологической, геоморфологической, гидрогеологической и инженерно-геологической информации о регионе в виде карт.

2. Собственные инженерно-геологические полевые работы на территории Гвинеи включавшие: маршрутные обследования, документацию фотографирование опорных разрезов с отбором проб грунта, полевые испытания (прессометрические и др.) и т. д.

3. Лабораторные работы.

4. Анализ и интерпретация собранной информации и выбора компонентов (инженерно-геологических факторов) и инженерно-геологических таксонов для составления карты.

5. Построение специальной инженерно-геологической карты распространения экзогенные геологические процессы Гвинейской Республики.

6. Создание специальной карты инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики и таблицы-экспликации.



Рисунок 5.2. Алгоритм инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики

5.3. Инженерно-геологическая карта геологических процессов территории Гвинеи

Результатом исследования геологических процессов является специальная инженерно-геологическая карта геологических процессов территории Гвинеи М 1:7 500 000, содержащая информацию о пространственном распространении инженерно-геологических процессов (рисунок 5.3). На основании всестороннего анализа условий и причин развития геологических процессов на территории Гвинейской Республики было идентифицировано семь процессов, интенсивность, скорость, характер и направление которых определяются взаимодействием климатических, гидрографических факторов и геологической среды Гвинеи.

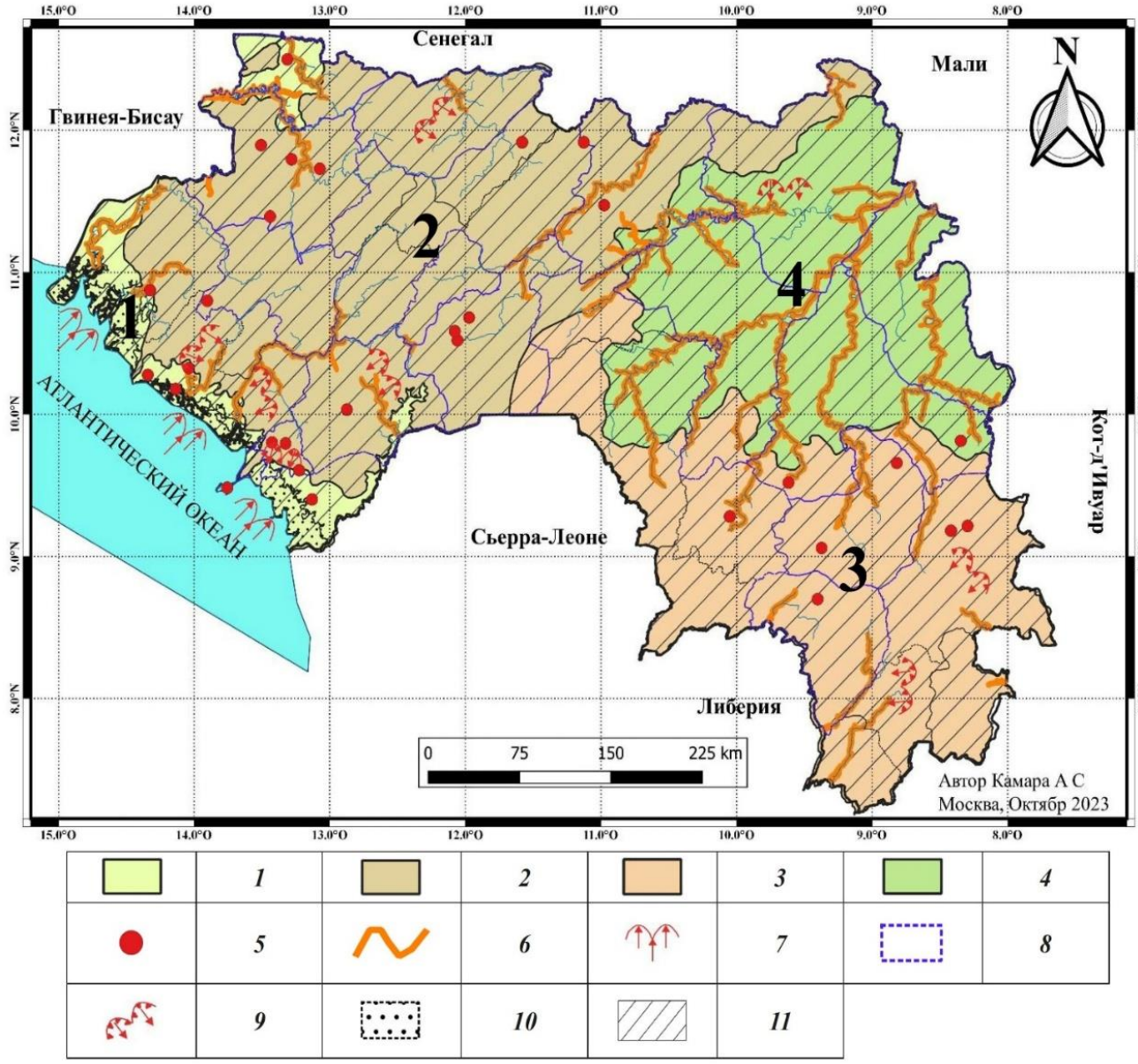


Рисунок 5.3. Специальная инженерно-геологическая карта распространения геологические процессы Гвинейской Республики: 1 – 4 геоморфологические районы: 1 – Приморская равнина, 2 – плато Фута Джаллон-Мандинго, 3 – Гвинейская возвышенность, 4 – Внутренняя равнина; 5-11 – геологические процессы: 5 – землетрясения, 6 – эрозия, 7 – абразия, 8 – подтопление, 9 – оползни, 10 – заболачивание , 11 – выветривания

Эндогенные процессы

Землетрясения

Согласно данным Дорбата и соавторов [84], сейсмичность в Западной Африке низкая, тем не менее, несколько крупных и разрушительных землетрясений происходили в районе Аккры (Гана) и на севере на островах Зеленого Мыса. В течение последнего столетия в Гвинее были зарегистрировано сильнейшее землетрясение в 1983 года в прибрежной зоне с магнитудой (MS) 6,3 (таблица 5.2). Эпицентр землетрясения (глубина от 5 до 15 км) расположен вблизи зоны разлома, отделяющей бассейн Боэ от впадины Басаридов.

Карта оценки сейсмических рисков Гвинеи (рисунок 5.4), основанная на 100-летней истории землетрясений (1918-2018 гг.), позволила, идентифицировать три сейсмических зоны: зона А охватывает палеозойский кратон, зоны В и С — архейские и нижнепротерозойские породы [96].

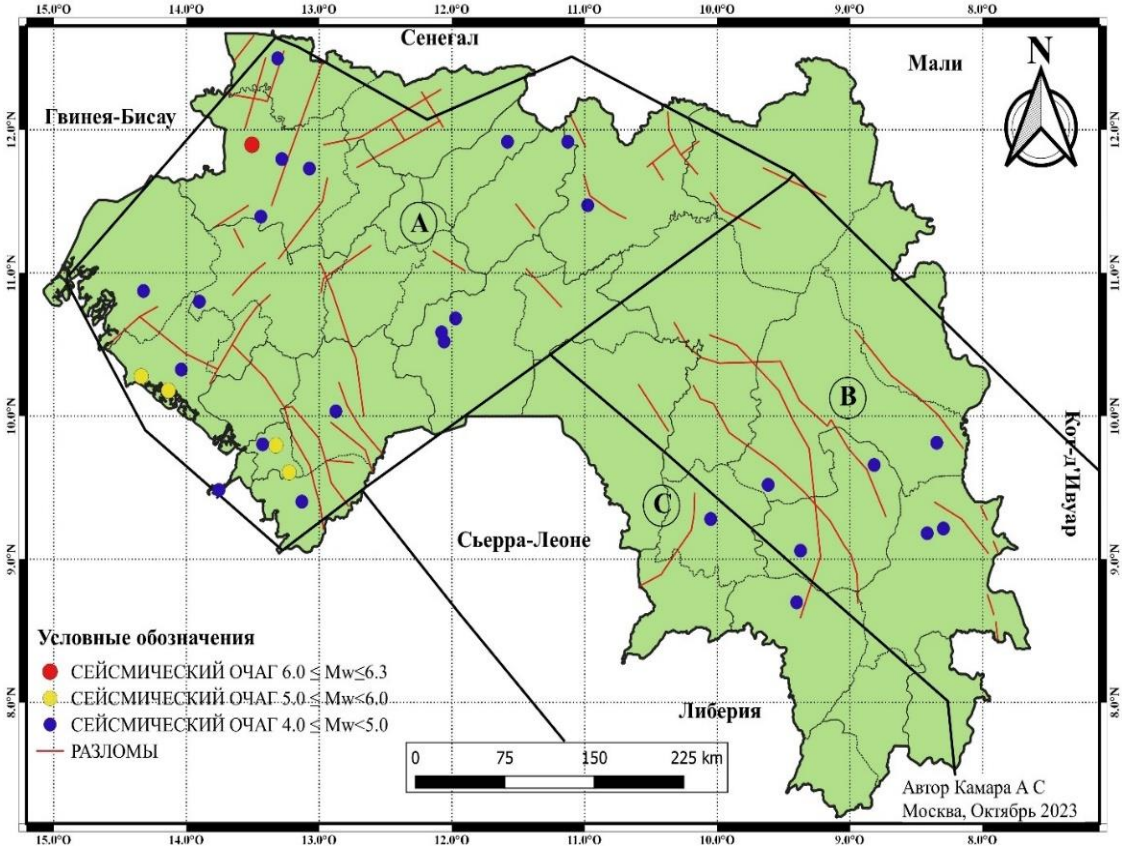


Рисунок 5.4. Схематическая карта сейсмических зон Гвинейской Республики [96], *отредактировано автором.*

Таблица 5.2. История нескольких землетрясений, произошедших в Гвинее

Дата	Время	Район	Магнитуда	Наблюдения
13.07.1935 г.	14ч.19	Боффа	6-7	Вся прибрежная зона
6 .03.1941 г.	12ч.08	Нижняя Гвинея	5	Вся прибрежная зона. Вибрация 3 - 4 сек
12.05.1975 г.		Таулела (Масента)	3	Грохот в гранитном массиве
29.07.1982 г.	23ч.30м	Койя и Форекария	4-5	Резкий и мощный толчок
22.12.1983 г.	4ч.11	Кубия (Гауаль)	6,4	Глубина эпицентра 11 км, погибших - 320, раненых - 10 000, 20 000 бездомных.
16.05.1986 г.	4ч.00	Моншон (Боффа)	4-5	Вся прибрежная зона
8.06.1986 г.	9ч.15	Тимби мадина (Пита)	4	Префектура Пита, Лабе, Телимеле, Гауаль и Лелома
2.03.2004 г.	00ч.26	Нижняя Гвинея	3-4	Вибрация, падение предметов
19.05.2004 г.	15ч.00	Кумбия	3-5	Толчок с последующей вибрацией
2 .01. 2007 г.	20ч.00	CRD Йемберинг, Мали	2-3	Толчок с последующей вибрацией
15.03.2008 г.	15ч.30м	Талибакоро Керуане	2-3	Толчок с последующей вибрацией
3.02.2012 г.	17ч.30 21ч.00	Далаба и окрестности	3	Толчок с последующей вибрацией

Источник: Национальная служба по ликвидации последствий стихийных бедствий Гвинейской Республики

Экзогенные геологические процессы

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) являются важнейшей составляющей оценки инженерно-геологических условий территории. Их развитие определяется совокупностью геологического строения, тектонических особенностей, трещиноватости массива, гидрогеологических и геоморфологических условий. Движущей силой ЭГП служат внешние по отношению к литосфере агенты: солнечная радиация, атмосферные осадки, динамика поверхностных, речных и морских вод, жизнедеятельность биоты, — каждый из которых инициирует специфический вид преобразования горных пород [5].

На основе тщательного анализа условий и причин развития геологических процессов на территории Гвинейской Республики выявлены такие процессы, как выветривание, эрозия, оползни, наводнения, абразия и болотные образования.

Абразия. В настоящее время является глобальным явлением, затрагивающим все страны, расположенные вдоль океана (прибрежные или морские страны). Абразия – постепенное разрушение горных пород или отложений вдоль прибрежного побережья под воздействием волн

(сила которых во время штормов достигает 30–40 т/м^2); обломочного материала, принесенного волной; сжатия воздуха в порах и полостях породы при воздействии волн, в результате чего породы трескаются под воздействием высокого давления.

Атлантический океан, омывающий западное и южное побережья Гвинеи на протяжении 300 км, является основной причиной отступления береговой линии Гвинеи (сухопутно-морской границы) вглубь страны. Отступление прибрежной зоны Гвинеи обусловлено, в том числе, конфигурацией береговой линии (рельефом и геологическим строением), антропогенными и другими природными факторами (рисунок 5.5). В зависимости от типа побережий: каменистого, глинистого или песчаного, их подверженности и устойчивости к морским агентам, скорость отступания побережья в некоторых местах увеличивается [104]



Рисунок 5.5. Абразия и защитное сооружение в районе города Конакри

Эволюция береговой линии в Кобе с 1953 по 1988 год (рисунок 5.6; таблица 5.3) показывает значительное отступление береговой линии с 1980 по 1988 г., со скоростью превышающей 100 м/год [82]. Тем не менее, существует относительная устойчивость скалистого берега вдоль мыса Верга (префектура Боффа) и полуострова Калум.

Таблица 5.3: Эволюция побережья в Кобе и ее социально-экономические последствия в период с 1953 по 1988 год [99]

Наблюдаемые события, состав пород	**Скорость абразии, м/год**	**Социально-экономические последствия**
Современная эволюция побережья (1980 - 1988)	114	Разрушение дамб, деградация мангровых лесов, повреждение с/х земель наводнениями
Современная эволюция эстуарных равнин (1966-1980)	Устойчивость в прибрежных зонах и эстуариях	Расширение посевных площадей под рис

Эволюция береговой линии прибрежных равнин в прошлом (1953–1966)	+ 80	Возобновление выращивания риса

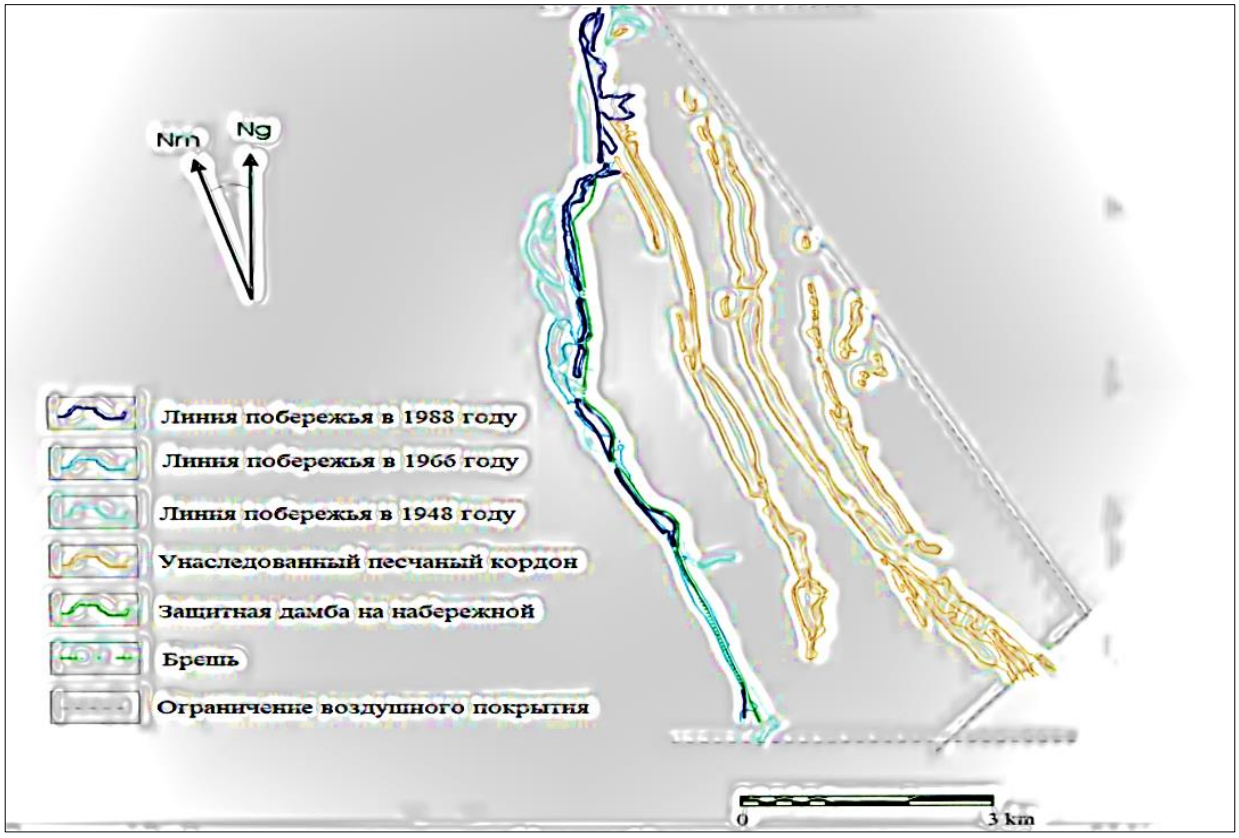


Рисунок 5.6. Динамика береговой линии на уровне острова Кобе с 1948 по1988 год [82]

Эрозионные процессы – речная и овражная эрозия, являются одним из наиболее распространенных экзогенных геологических процессов в Гвинее.

Речная эрозия. Является одним из широко развитых процессов в ряду ЭГП Гвинеи, что обусловлено исключительной разветвлённостью гидрографической сети страны (более 1161 водотока). Интенсивность линейной и боковой эрозии определяется взаимодействием пяти групп факторов: литологическим составом и физико-механическими свойствами грунтов речного бассейна; топографическими условиями (уклон русла, ориентация склонов, степень расчленения рельефа); характером и густотой растительного покрова как противоэрозионного барьера; количеством, интенсивностью и режимом атмосферных осадков; а также соотношением инфильтрации и испарения, определяющим величину стока.

На основе анализа твердых стоков бассейнов крупных рек Гвинеи [73, 110], установлено, что механическая эрозия в верховьях рек Гамбия и Тинкиссо, оценивается в 7 т/км²/год. Это низкая величина связана с кристаллической природой коренной породы и железистым почвенным покровом массива Фута-Джалон всего верхнего течения рек. В верховьях рек Нигер,

Фалеме и Сенегал механическая эрозия достигает 10 - 18 т/км²/год. Это увеличение связано с пересечением рек плато Мандинка, сложенного латеритными грунтами, уязвимыми к эрозии.

Овражная эрозия — это активный современный рельефообразующий процесс (рисунок 5.7), наносящий большой ущерб, отрицательно влияющий практически на все отрасли сельскохозяйственного производства: сокращаются площади, удобные для использования; снижается производительность работы сельскохозяйственной техники на склонах. Этот вид водной эрозии приобретает особое значение во влажных тропиках с обильными дождями; капли бомбардируют поверхность грунта, поднимая частицы почвы в воздух и отбрасывая их на расстояние до 1,5 м.

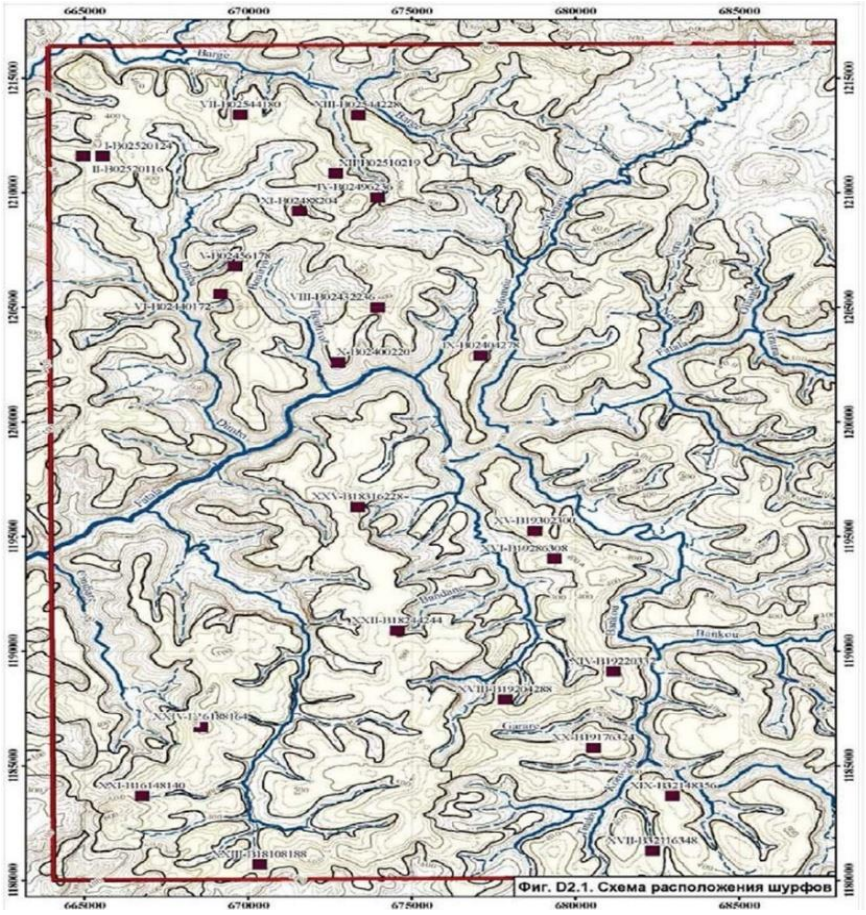


Рисунок 5.7. Фрагмент геоморфологической карты, иллюстрирующий характер развития речной и овражной эрозии на Северо-Гвинейском плоскогорье, Фута Джаллон

Активизация эрозии происходит в результате разработок полезных ископаемых открытым способом (рисунок 5.8), ежедневные потери почв из-за развития оврагов достигают сотни га. Скорость овражной эрозии очень большая несколько метров год.

В настоящее время процесс овражной эрозии практически не изучен. Актуальным является создание научно обоснованного представления о закономерностях развития оврагов, выявление стадийности их роста с количественной оценкой процесса, что позволит определять

целесообразность применения противоэрозионных мероприятий в зависимости от природных условий и вида антропогенной нагрузки в разных регионах страны.



Рисунок 5.8. Разработка месторождения открытым способом

Оползни. Развитие склоновых процессов в Гвинейской Республике достаточно распространено. Это влияет на оценку инженерно-геологических условий территории и усложняет строительство инженерной инфраструктуры. Согласно имеющимся данным об оползнях в Гвинее, эти явления в основном связаны с рельефом местности страны. Этому явлению способствуют и другие факторы, такие как режим и большое количество атмосферных осадков, антропогенная деятельность [5].

В Гвинее было зарегистрировано несколько крупных оползней: в Койе (1962 и 1963 г.), в Йому (1991 г.), Сенко (1993 г.). В городе Секу Сори был зафиксирован оползень (2011г.) длиной около 1000 метров, шириной 170 см и глубиной захвата 2 м. В 2015 г. в префектура Боффа произошел оползень, в результате которого были человеческие жертвы, полностью разрушены дома, уничтожен скот, гектары рисовых полей, продовольственные склады и изолирован доступ к пострадавшей деревне.

Оползень, произошедший в сентябре 2024 года в префектуре Дубрека (бывший латеритный карьер Диумайе) перекрыл национальную дорогу N3. Оползень, произошедший в ночь с 20 на 21 августа 2025 года в Манеа (префектура Койя) в результате проливных дождей, привел к значительным ущербам: 15 погибших; 11 раненых, люди числятся пропавшими без вести, и около двадцати домов погребены под завалами (рисунок 5.9).



Рисунок 5.9. Результат оползневого процесса

Наводнения – Подтопление. Паводковые территорий принадлежат к числу наиболее опасных и трудно прогнозируемых ЭГП Гвинеи. Методологической основой делимитации зон затопления служит гидрогеоморфологический подход [70], базирующийся на восстановлении исторического функционирования гидросистемы посредством анализа форм пойменного рельефа и аллювиальных образований.

В Гвинее паводки носят сезонный характер и ежегодно повторяются в период дождей: продолжительные ливни генерируют пиковый поверхностный сток, который при отсутствии адекватной дренажной инфраструктуры застаивается в городских депрессиях. Наибольшей уязвимостью характеризуются Конакри и префектуры Маму, Киндия, Канкан, Масента, Гауаль и ряд других (рисунок 5.10).

Было зарегистрировано несколько случаев подтопление, которые приводили к значительным человеческим, материальным жертвам и причиняли ущерб пахотным угодьям.

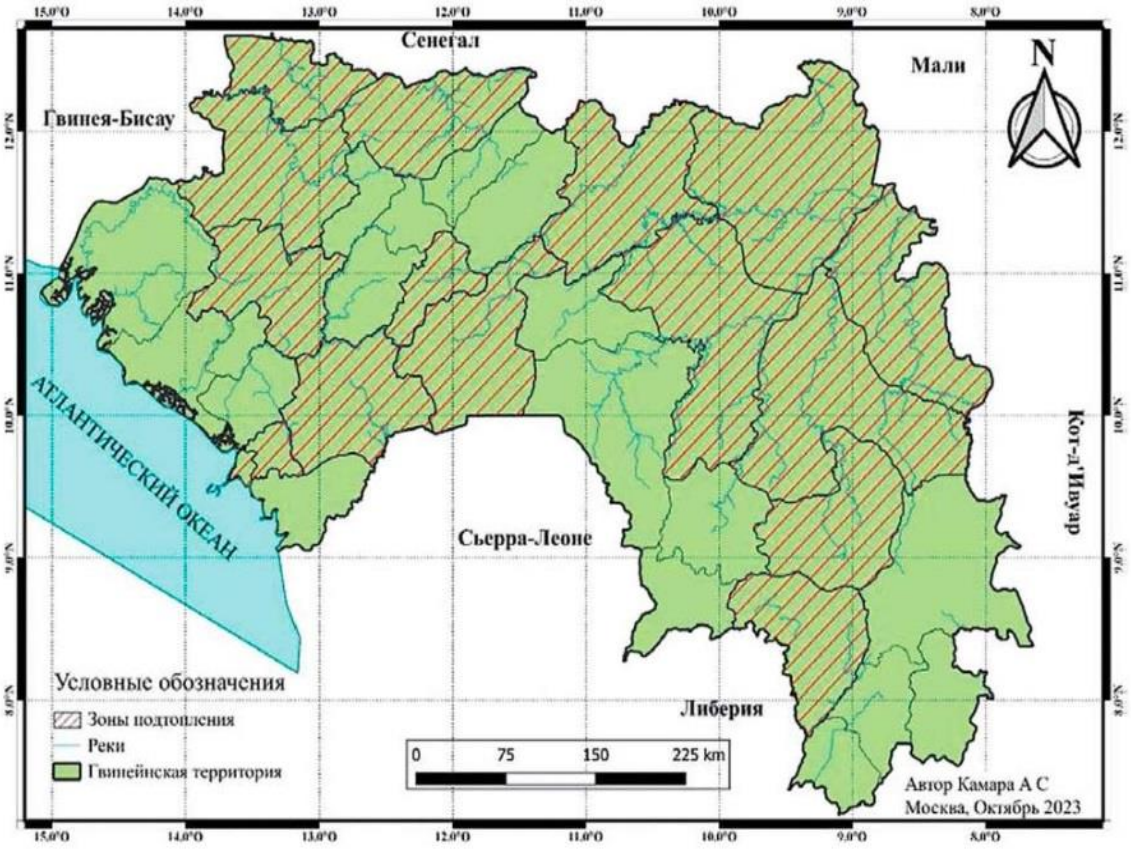


Рисунок 5.10. Схематическая карта зон подтопления Гвинейской Республики

Заболачивание — характерным процессом для Приморской Гвинеи и прибрежных островов. Его развитие определяется специфическим сочетанием природных условий: слабоводопроницаемые почвы препятствуют инфильтрации дождевых вод; субгоризонтальный рельеф приморской равнины замедляет поверхностный сток; тепловой режим оказывается недостаточным для испарения всего избытка влаги. В совокупности эти факторы обусловливают многомесячное стояние воды на поверхности почвы и формирование обширных мелководных болотных угодий, занимающих значительные площади мангровых экосистем побережья.

Современное выветривание и Латеритный карст.

Выветривание — комплекс взаимосвязанных физических, физико-химических и биохимических процессов, протекающих на границе литосферы с атмосферой, гидросферой и биосферой. В результате этих процессов горные породы претерпевают закономерные изменения состава, структуры, физического состояния и механических свойств (рисунок 5.11). Продукты выветривания служат исходным материалом для формирования большинства экзогенных (осадочных) горных пород и рыхлых отложений [87], что придаёт выветриванию фундаментальное значение в геологическом цикле.

Формирование латеритной коры выветривания на Леоно-Либерийском кристаллическом массиве началось предположительно в меловом периоде, когда глобальный климат был устойчиво жарким и влажным, и продолжается по настоящее время. Результатом этого многоэтапного

процесса стали латеритные КВ, характерные для экваториальных и субэкваториальных регионов планеты. К числу ключевых условий, определивших интенсивность и глубину латеритизации, относятся: приуроченность к эпохам глобального выветривания с тропическим климатом, тектонический режим с преобладанием положительных движений, рельеф, способствующий выветриванию и формированию выравнивающих поверхностей, продолжительность формирования коры выветривания [31].

Подробно вопросы о пространственном распространении, механизме процесса выветривания, строении и физико-механических свойствах ЛКВ на территории Гвинейской Республики рассмотрены в главе 3.



а)



б)



в)

Рисунок 5.11. Формы выветривания: а) *сфероидальное выветривание дунитов*, *б*) *коробчатое выветривание в алевролитах*, в) *неровный эродированный гранитный массив*

5.4. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики

При инженерно-геологическом районировании территории Гвинеи (рисунок 5.13) применена система однорядного последовательного районирования.

Технология составления карты использование программного обеспечения, карт структоурно-тектонической, геоморфологической, коренных пород.

Значимым компонентом инженерно-геологических условий является латеритная формация ЛКВ (рисунок 5.12), имеющая практически повсеместное распространение на территории Гвинеи.

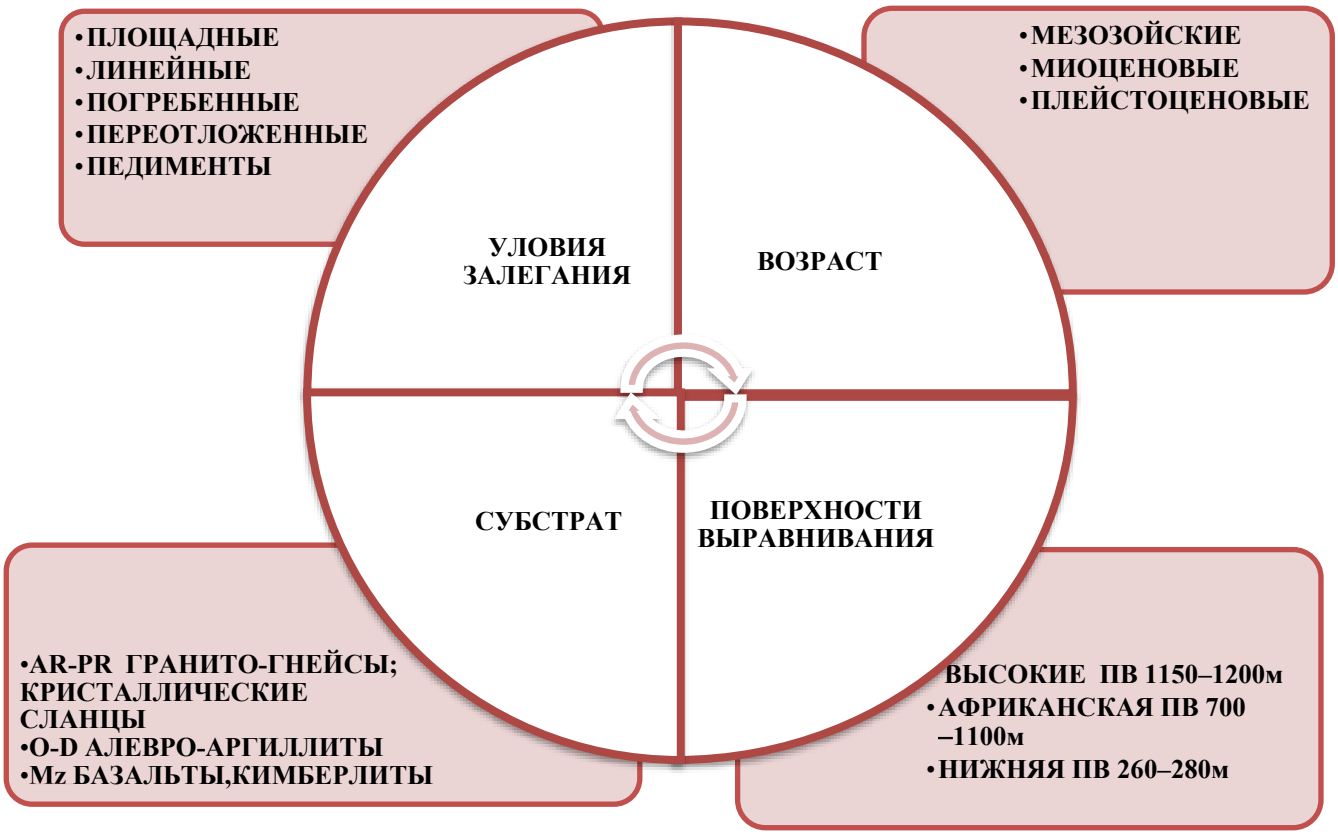


Рисунок 5.12. Классификации латеритной коры выветривания на территории Гвинейской Республики

По условиям залегания ЛКВ Гвинеи подразделяются на площадные, линейные, погребенные, переотложенные и педименты. По возрасту: мезозойские, миоценовые, плейстоценовые. По морфометрическому положению поверхностей выравнивания (ПВ): на высокие ПВ 1150–1200м, африканская ПВ 700 –1100м, нижняя ПВ 260–280м. По субстрату (наиболее широко распространённых пород): AR-PR гранито-гнейсы; кристаллические сланцы; Pz (O-D) алевро-аргиллиты; Mz базальты, кимберлиты.

Опираясь на систематику И. В. Попова, с учётом факторов формирования инженерно-геологических структур и важного фактора — формации латеритной коры выветривания (ЛКВ), автор использовал обособление в таксономическом ряду четырех основных рангов: 1) регионы, 2) области, 3) районы (1-го н 2-го порядка), 4) участки.

❖ ***Регионы*** – выделены по структурно–тектоническому признаку. В соответствии с тектоническими особенностями на территории Гвинейской Республики была разделена на четыре региона: *I – Западно-Гвинейскую синеклизу, II – Леоно – Либерийский щит, III –Синеклизы Тауденни, IV – Прогиб Рокел – Бассари*.

❖ ***Области*** – устанавливаются по геоморфологическому признаку путем выделения основных геоморфологических элементов: поверхностей выравнивания, речных и морских террас. В геоморфологическом отношении территория Гвинеи выделены четыре (4) области: *А) Приморская равнина, Б) Плато Фута-Джаллон – Мандинго (Fouta Djalon Mandingo), В) Гвинейская возвышенность, Г) Внутренняя равнина.*

❖ ***Районы*** – обособляются по возрасту, генезису коренных пород и по типу латеритной формации КВ. На рассматриваемой территории выделяются тринадцатью районами *1-го порядка: IА-1, IА-2, IА-3, IБ-1, IБ-2, IБ-3, IБ-4, IIБ-1, IIВ-1, IIГ-1, IIГ-2, IIIБ-1, IVБ-1*; При инженерно-геологическом районировании Гвинеи районы *2-го порядка* определяются на основе латеритная формация, *её субстрата, условий залегания, возраста, поверхности выравнивания и мощности* (рисунок 5.12, таблица 2.2, 4.7).

❖ ***Участки*** по проявлениям геологических процессов. Это: *1 – землетрясения, 2 – выветривание, 3 – эрозия, 4 – подтопление, 5 – оползни, 6 – абразия, 7 –заболачивание*.
проявления геологических процессов указаны на специальной инженерно-геологической карте распространения геологических процессов Гвинейской Республики М 1:7 500 000 (рисунок 5.11), которую можно рассматривать как дополнительную карту к карте инженерно-геологической районирования.

Характеристика регионов, областей, районов и участков сведены в таблицу-экспликацию (таблица 5.4). Она содержит номера всех районов, условные цвета, которыми они закрашиваются на карте, и далее дается геоморфологическая характеристика (с выделением поверхностей выравнивания, которые обозначаются в таблице и на карте добавлением к номеру района буквенного индекса), геологическое строение, КВ, современные геологические процессы и явления.

Таблица может рассматриваться как завершающее приложение к карте районирования.

Краткая характеристика таксонов

Район *IA-1*. Охватывает прибрежную часть Западно-Гвинейской синеклизы. Рельеф плоский, абсолютные отметки от 0 до 10 м, активно подверженный воздействию приливно-отливной динамики. Для района характерно развитие четвертичных отложений морских террас, аллювиальных отложений, прибрежных песков и прибрежно-морскими отложениями неогена, песками кварцевыми разнозернистыми, глинами темно-серыми, перекрытыми погребённой ЛКВ (песками кварцевыми с обломками коры выветривания) голоценового возраста мощностью до 10 м. Территория неблагоприятна для капитального строительства без специальных инженерных мероприятий (свайные фундаменты, дренаж, берегоукрепление). Преобладающие геологические процессы — морская абразия, подтопление, землетрясения и заболачивание.

Район *IA-2.* Простирается вдоль приморской равнины, на окраине плато Фута-Джаллон-Мандинго, в Западно-Гвинейской синеклизе. Рельеф пологий и низколежащий, абсолютные отметки 10–120 м. Район сложен палеозойскими осадочными породами (кембрий — девон): алевро-аргиллиты, песчаники, с горизонтами гравелитов и мелкогалечных конгломератов, перекрытыми латеритной и железистой корой выветривания средней степени твёрдости, площадного типа, среднеплейстоценового возраста, мощностью до 25 м. ЛКВ может использоваться как основание под лёгкие дорожные конструкции. Основные геологические процессы — землетрясения (балльность до 5–6 по шкале MSK), морская абразия, выветривание и речная эрозия.

Район *IA-3.* Расположен на юго-востоке приморской равнины, на окраине плато Фута-Джалон-Мандинго, в Западно-Гвинейской синеклизе. Рельеф пологий и низколежащий, абсолютные отметки 10–120 м. Субстрат представлен архейскими и нижнепротерозойскими кристаллическими породами: гнейсово-кварцитовые сланцы, гранито-гнейсы, мигматиты, перекрытыми ЛКВ средней степени твёрдости, площадного типа среднеплейстоценового возраста мощностью до 25 м. Территория благоприятна для капитального строительства, ее кристаллический фундамент служит надёжным основанием для тяжёлых инженерных сооружений. Однако при проектировании нужны инженерно-геологические исследования для уточнения мощности ЛКВ. Основные геологические процессы — землетрясения (балльность до 4–5 по шкале MSK), подтопление и выветривание.

Район. *IБ-1*. Занимает центральную часть Западно-Гвинейской синеклизы в зоне высоких поверхностей выравнивания плато Фута-Джаллон-Мандинго (абс. отм. 1150–1200 м) с хорошим естественным дренажем. Субстрат сложен палеозойскими (кембрий — девон) осадочными породами: алевро-аргиллиты, песчаники, с горизонтами гравелитов и мелкогалечных конгломератов, рассеченных интрузиями мезозойских долеритов; перекрытые мощной ЛКВ мелового возраста площадного типа мощностью до 40 м и более, а также линейного типа с

глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 384 м. Наблюдается значительная пространственная изменчивость физико-механических свойств грунтов по глубине. При строительстве необходимо учитывать зональность ЛКВ. Основные геологические процессы — землетрясения (балльность до 6.3 по шкале MSK), выветривание, овражная эрозия, латеритный карст, гравитационные процессы.

Район *ІБ-2*. Охватывает восточную часть Западно-Гвинейской синеклизы, приуроченную к Африканской поверхности выравнивания плато Фута-Джаллон-Мандинго (абс. отм. 700–1100 м). Район представлен верхнепротерозойскими терригенно-карбонатными и морскими осадочными породами: аргиллиты, песчаники, серицит-хлоритовые сланцы, доломиты, рассеченных интрузиями мезозойских долеритов; перекрытыми ЛКВ средне миоценового возраста площадного типа мощностью до 40 м, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 146 м. Присутствие карбонатных пород в субстрате создаёт риск развития латеритного карста, что необходимо учитывать при проектировании инженерных сооружений. Преобладающие геологические процессы — землетрясения (балльность до 4–5 по шкале MSK), выветривание, овражная эрозия, латеритный карст, гравитационные процессы.

Район *ІБ-3***.** Расположен в северной части Западно-Гвинейской синеклизы, в зоне Африканской поверхности выравнивания плато Фута-Джаллон-Мандинго (абс. отм. 700–1100 м). Субстрат сложен нижнепротерозойскими гранито-гнейсами и мигматитами, рассеченных интрузиями мезозойских долеритов; перекрытыми ЛКВ средне миоценового возраста площадного типа мощностью до 40 м, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 146 м. ЛКВ требует специального изучения при проектировании сооружений. Основной геологический процесс — землетрясения (балльность до 4–5 по шкале MSK), выветривание, подтопление,

Район *ІБ-4*. Расположен в прибрежной части к западу от Западно-Гвинейской синеклизы, в зоне низких поверхностей выравнивания плато Фута-Джалон-Мандинго (абс. отм. 260–280 м). Территория характеризуется развитием дифференцированных интрузий основного и ультраосновного состава: долеритами, дунитами, лейкократовыми габбро, перекрытых ЛКВ среднеплейстоценового возраста педиментового типа, мощностью 15–72 м. Основные геологические процессы — землетрясения (балльность до 4–5 по шкале MSK), морская абразия, подтопление и выветривание.

Район *ІІБ-1***.** Расположен в пределах Леоно-Либерийского щита, в зоне низких поверхностей выравнивания плато Фута-Джалон-Мандинго (абс. отм. 260–280 м). Субстрат представлен архейскими и нижнепротерозойскими кристаллическими породами: гнейсово-кварцитовые сланцы, гранито-гнейсы, мигматиты, рассеченных интрузиями мезозойских долеритов;

перекрытыми ЛКВ среднеплейстоценового возраста педиментового типа мощностью 15–55 м, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 72 м. Основной геологический процесс —речная эрозия, подтопление, выветривание.

Район *IIВ-1***.** Занимает южную часть Леоно-Либерийского щита в пределах Гвинейской среднегорной возвышенности (800–1200 м), расчленённой на речные бассейны с хребтами Симанду и Нимба (максимальные отметки 1656–1752 м). Субстрат сложен архейскими и нижнепротерозойскими кристаллическими породами (гнейсами, кристаллическими сланцами, гранито-гнейсами, мигматитами), рассеченных интрузиями мезозойских долеритов и кимберлитов; перекрытыми ЛКВ мелового возраста площадного типа мощностью до 80 м и более, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 384 м. Хребты Симанду и Нимба представляют собой крупнейшие в Западной Африке месторождения железных руд. Основные геологические процессы — гравитационные процессы, выветривание, овражная эрозия, подтопление.

Район *IIГ-1***.** Охватывает северную часть Леоно-Либерийского щита в пределах внутренней эрозионно-денудационной равнины (абс. отм. 380–490 м). Территория представлена нижнепротерозойскими терригенно-вулканогенными породами бирримского комплекса: сланцы, филлиты и др., перекрытыми ЛКВ палеогенового возраста площадного типа мощностью до 30–50 м. Основной геологический процесс — Речная эрозия, подтопление, выветривание.

Район. *IIГ-2*. Приурочен к крупным речным долинам р. Нигер и его притоков в северной части Леоно-Либерийского щита (абс. отм. 380–490 м), с мелкоступенчатым рельефом погребённых склонов. Район сложен четвертичными аллювиальными отложениями: супеси и суглинки с гравийно-галечным материалом хорошей окатанности (размером 2–8см). Мощность переотложенной коры выветривания составляет 4–10 м. Аллювиальные отложения характеризуются неоднородным гранулометрическим составом и значительной сжимаемостью мелкодисперсных фракций. При проектировании мостовых переходов и берегозащитных сооружений необходимы детальные исследования. Основные геологические процессы — речная эрозия и подтопление.

Район. *IIIБ-1*. Расположен в пределах синеклизы Таудени в зоне низких поверхностей выравнивания плато Фута-Джалон-Мандинго (абс. отм. 260–280 м). Субстрат представлен эффузивными вулканическими породами панафриканских (вандейских) активационных структур (базальтовые порфириты, туфы), рассеченных интрузиями мезозойских долеритов; перекрытыми ЛКВ среднеплейстоценового возраста педиментового типа мощностью 15–55 м, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 72 м. Основной геологический процесс —речная эрозия, подтопление, выветривание.

Район *IVБ-1*. Приурочен к прогибам Рокель–Бассари в зоне низких поверхностей выравнивания плато Фута-Джаллон-Мандинго. Субстрат сложен эффузивными вулканическими породами панафриканских активационных структур (базальтовые порфириты, туфы), рассеченных интрузиями мезозойских долеритов; перекрытыми ЛКВ среднеплейстоценового возраста педиментового типа мощностью 15–55 м, а также линейного типа с глубиной проявления сорбционных процессов и выветривания до 72 м. Основной геологический процесс —речная эрозия, подтопление, выветривание. Прогибы Рокеля и Бассари трассируются вдоль трансформных разломов, что увеличивает сейсмический риск и обусловливает необходимость сейсмического микрорайонирования территории планируемого строительства. Основные геологические процессы — землетрясения, подтопление, речная эрозия и выветривание.

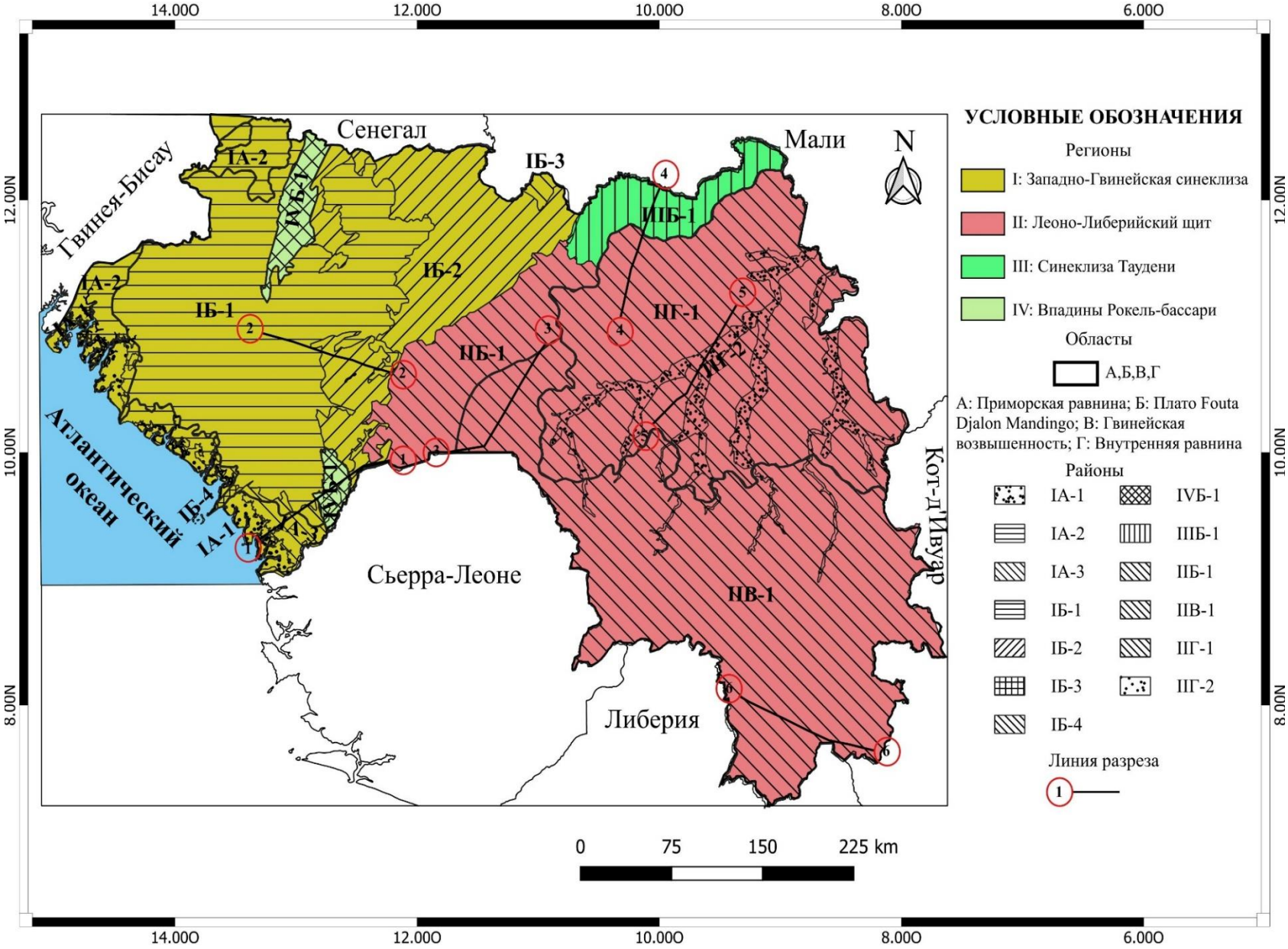
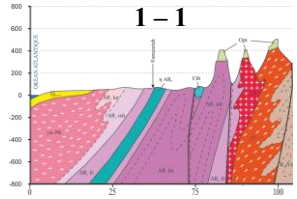
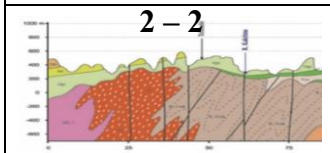
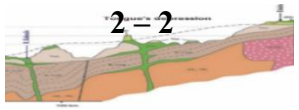
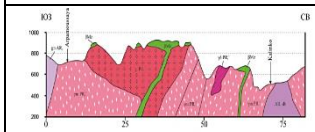
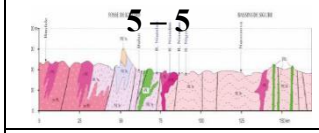
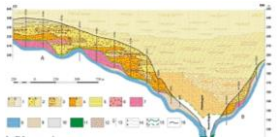
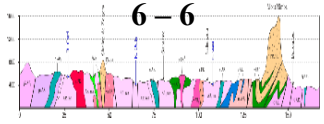
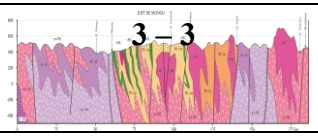
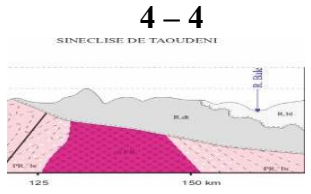
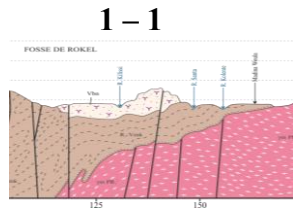


Рисунок 5.13. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики

Таблица 5.4. Таблица-экспликация к Схематической карте инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики

Компоненты инженерно-геологических условий							
Регион (структура)			**Индекс**	***Область*** **(геоморфологические условия)**	***Район***		***Участок*** **(ЭГП)**
1-го порядка	**2-го порядка**	**Схематический разрез**			***Геологические условия***	***Кора выветривания***	
				Морфология, морфометрия	Геологический индекс, генезис, состав пород,	Возраст, тип, мощность, м	Процесс, формы проявления
Леоно-Либерийский кристаллических массива	**Западно-Гвинейская синеклиза I**		**IA-1**	Приморская равнина, Абс.отм 0 - 10 м.	Q отложения морских террас, аллювий, пески; N прибрежно-морские отложения: пески кварцевые разнозернистые, глины темно-серые	Голоцен, *погребённая* тип КВ, мощность 25м	Морская абразия, заболачивание, подтопление, землетрясения
			IA-2	Приморская равнина, Абс.отм 10 - 120 м	Є, Opt, Stl, Dfr, осадочные породы: алевро-аргиллита, песчаники, с горизонтами гравелитов и мелкогалечных конгломератов	Средний плейстоцен, площадной тип КВ мощность 25 м	Морская абразия, выветривание, землетрясения, речная эрозия
			IA-3		AR, γPR, гнейсы, кварциты, сланцы, гранито-гнейсы и мигматиты		Подтопление, выветривание, землетрясения
			**IБ-1**	Высокие поверхности выравнивания Плато Fouta Djallon-Mandingo, Абс.отм 1150–1200 м	Є, Opt, Stl, Dfr, осадочные породы: алевро-аргиллиты, песчаники с горизонтами гравелитов и мелкогалечных конгломератов; MZ, интрузивных пород, долериты	Меловой, площадной тип КВ, мощность 40 м; линейный тип КВ, мощность 384 м	Землетрясения, выветривание, овражная эрозия, латеритный карст, гравитационные процессы
			**IБ-2**	Африканская поверхность выравнивания. Плато Fouta Djallon-Mandingo. Абс.отм 700 –1100 м.	PR_3, осадочные породы: алевро-аргиллиты, песчаники, серицит-хлоритовые сланцы; MZ, интрузивных пород, долериты долериты	Средне миоценовый, площадной тип КВ, мощность 40 м; линейный тип КВ, мощность 146 м	
			**IБ-3**		γPR_1, кристаллических пород, гранито-гнейсы и мигматиты; MZ, интрузивных пород, долериты		Землетрясения, выветривание, подтопление,
			IБ-4	Низкие поверхности выравнивания. Плато Fouta Djalon-Mandingo. Абс. отм 260–280 м	MZ, интрузивных пород, дуниты	Средний плейстоцен, педименты КВ, мощность 15–55 м	Землетрясения, выветривание, морская абразия, подтопление

	Леоно-Либерийский щит II		IIГ-1	Внутренняя равнина - эрозионно-денудационная. Абс. отм 380–490 м.	PR_1br, терригенно-вулканогенные сланцы и филлиты	Палеоген, площадной тип КВ, мощность 30–50 м	Речная эрозия, подтопление, выветривание
			IIГ-2	Внутренняя равнина, крупные речные долины рельеф погребенного склона, Абс. отм 380–490 м	*aQ* аллювий: гравийно-галечные отложения, галька хорошо окатанная размером от 2 до 8 см, AR, γPR_1 кристаллические породы	Поздний плейстоцен, переотложенная тип КВ, мощность 4–10 м	Речная эрозия, подтопление
			IIВ-1	Гвинейская возвышенность среднегорные. Абс. отм 800–1200м	AR, γPR_1 кристаллические породы: гнейсы и кристаллические сланцы, гранито-гнейсы, мигматиты; Mz интрузивные породы, долериты и кимберлиты	Меловой, площадной тип КВ, мощность> 80 м и линейный тип КВ, мощность – 384 м	Гравитационные процессы, выветривание, овражная эрозия, подтопление
			IIБ-1	Низкие поверхности выравнивания. Плато Fouta Djalon-Mandingo, Абс. отм 260–280 м,		Средний плейстоцен, педименты тип КВ, мощность 15-55 м и линейный КВ, мощность – 72 м	Речная эрозия, подтопление, выветривание
	Синеклиза Таудени III		IIIБ-1		PR_3, эффузивных вулканических и вулканогенно-осадочных пород: базальтовы порфириты, аргиллиты и туфы.		
	Впадины Рокель-бассари IV		IVБ-1				Землетрясения, подтопление, речная эрозия, выветривание

Выводы

1. Впервые составлена специальная схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики на основе авторской классификации ЛКВ. Данная кора рассматривается как основополагающий фактор, определяющий инженерно-геологические условия строительства в стране.

2. Разработанная система таксономического районирования включает четыре ранга таксонов: 1) регионы, 2) области, 3) районы 1-го и 2-го порядков, 4) участки. При этом условия залегания, возраст, мощность поверхности выравнивания и состав субстрата ЛКВ служат основными критериями для выделения таксонов на уровне районов 2-го порядка.

3. Установлено, что ЛКВ на территории Гвинеи охватывает широкий возрастной диапазон: от погребенных голоценовых форм на прибрежной равнине (мощностью до 10 м) до линейных меловых структур на кристаллических щитах (мощностью более 80 м), а также среднеплейстоценовых педиментированных форм на основных и ультраосновных породах.

4. Выделены три зоны высокого инженерно-геологического риска, требующие специальных инженерных мероприятий при капитальном строительстве: приморская равнина (слабые грунты, подтопления, абразия), плато Фута-Джаллон Мандинго (мощная ЛКВ мелового периода, землетрясения, гравитационные процессы) и аллювиальные долины реки Нигер (сжимаемые четвертичные отложения, подтопления).

5. Специальная карта инженерно-геологического районирования Гвинеи представляет собой ключевой документ для стратегического планирования строительства на территории страны. Карта позволяет оптимально выбирать площадки для размещения инженерных объектов с учётом сложных геологических условий региона, что способствует предотвращению негативных изменений геологической среды и обеспечивает повышение эффективности, долговечности и безопасности строительства.

На основе изложенного материала сформулировано третье защищаемое положение (страница 6).

Заключение

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи: развитию теоретических положений об инженерно-геологической латеритной формации Гвинейской Республики и разработке научных основ инженерно-геологического районирования её территории.

Результаты исследований позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Региональные инженерно-геологические исследования ЛКВ территории Гвинеи, позволяют рассматривать её как самостоятельный объект инженерной геологии и неотъемлемую составную часть природно-технической системы. Совокупность структурно-тектонического строения Леоно-Либерийского щита, ярусного рельефа с развитыми поверхностями выравнивания и устойчивого субэкваториального климата, сохраняющегося с мезозоя, создаёт исключительно благоприятные условия для повсеместного формирования мощной ЛКВ, перекрывающей практически всю территорию страны.

2. Установлена и обоснована определяющая роль геодинамики экваториального сегмента Срединно-Атлантического хребта (рифта Сьерра-Леоне) в формировании структурных предпосылок латеритной коры выветривания Гвинеи. Спрединг Африканской и Южно-Американской плит обусловил блоково-дифференцированное строение Леоно- Либерийского массива, формирование системы трансформных разломов и высокую проницаемость пород. Именно эти тектонические условия создали возможность глубокого проникновения агентов выветривания (до 384 м в линейных КВ) и развития латеритного процесса в интервале K–Q.

3. Предложена принципиально новая концепция формирования и понятие «латеритная инженерно-геологическая формация экваториальных стран». Данная формация определяется как геологическое тело гипергенно-эндогенного генезиса, сформировавшееся в пределах Леоно-Либерийского щита при определенном геодинамическом режиме под влиянием продолжительного экваториального климата (мел – четвертичный период). Посредством анализа изменчивости минерального и гранулометрического состава, структурных связей минерального уровня: кристаллизационные-коагуляционные-цементационные, структурно-текстурным особенностям и физико-механическим свойствам вертикальный профиль ЛКВ был разделен на пять зон: скальные (субстрат); I зона – трещинные пород; II зона – обломочные; III зона – полускальные (литомарж); IV зона – дисперсные (глинистый); V зона – сцементированные (вторичной цементации). ЛФКВ характеризуется организационностью строения формации, изменчивостью состава и свойств грунтов в направлении действующего породообразующего процесса» по ξ_1 и неоднородностью грунтов в пределах каждой её зоны.

4. Изучение современной эволюции ЛКВ, проведенное в зоне цементации двух разных профилях с использованием комплексных методов, выявило открытый и динамичный характер литосистемы. Миграция железа под воздействием атмосферных и подземных вод контролирует прогрессирующую трансформацию ЛКВ, что проявляется в изменении геометрии порового пространства, эффективной пористости и прочностных характеристик грунтов. Удалось установить, что для состава и физико-механические свойства грунтов V зоны ЛКВ наследуют черты субстрата (в гранулометрическом и минеральном составе, реликтовых структурах).

5. Типичным проявлением современной трансформации ЛКВ является формирование пористости, каверн, полостей. Автор предлагает использовать термин «латеритный карст», описывающий явление, возникающее в результате процессов выветривания и карстообразования, тесно связанных с динамикой подземных вод и геохимическими барьерами.

6. Установлена роль латеритной коры выветривания как первичного источника всего многообразия типов четвертичных отложений Гвинеи. Систематизированы генетических типов, прямо связанных с ЛКВ: погребённая КВ в долинах рек; аллювий речных террас; делювий и коллювий склонов; морские и аллювиально-морские отложения. Это означает, что 85–90% четвертичного покрова территории Гвинеи является по существу переотложенной формой ЛКВ со всеми присущими ей анизотропией и неоднородностью свойств.

7. Представленная в работе Схематической карты инженерно-геологического районирования территории Гвинейской Республики составлена на основе оригинальной классификации латеритных кор выветривания.

8. Специальная инженерно-геологическая карта Гвинеи— это ключевой документ для стратегического планирования. Она позволяет оптимально выбирать участки для строительства, учитывая сложные геологические условия региона. Это помогает предотвратить негативные изменения в природной среде, которые могут привести к снижению эффективности, срока службы и безопасности инженерных объектов.

9. Выделены три зоны высокого инженерно-геологического риска — Приморская равнина, плато Фута-Джаллон Мандинго и аллювиальные долины реки Нигер, требующие специальных инженерно-технических мероприятий при капитальном строительстве.

10. На основании совокупности полученных результатов обоснована правомерность выделения «Инженерно-геологической формации латеритной коры выветривания экваториальных стран» как самостоятельной таксономической единицы инженерной геологии. Данная концепция открывает новые возможности для региональных инженерно-геологических исследований в экваториальных странах Африки, Азии и Латинской Америки.

Список литературы

1. Абатурова И. В. Инженерно-геологические условия месторождений твёрдых полезных ископаемых и методы их изучения. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 276 с.

2. Аверкина Т. И., Трофимов В. Т. Типы инженерно-геологических структур территории России // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 2016. – № 5. – С. 296–301.

3. Болонин А. В., Мамедов В. И., Мызников И. К. Железистые кварциты горного хребта Симанду (Гвинейская Республика) // Руды и металлы. – 2022. – № 3. – С. 57–77.

4. Болонин А. В., Мызников И. К., Нигматуллина А. М. Богатые железные руды в латеритной коре выветривания полосчатой железистой формации в горном хребте Симанду (Гвинейская Республика) // Руды и металлы. – 2023. – № 2. – С. 44–63.

5. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

6. Бондарик Г. К., Пендин В. В., Ярг Л. А. Инженерная геодинамика: учебник. – М.: КДУ, 2015. – 472 с.

7. Бондарик Г. К. Процессы латеритового выветривания и условия строительства на латеритах // Вопросы региональной инженерной геологии и методика исследований. Новая серия. – М., 1963. – С. 27–39.

8. Буфеев Ю. В. Позднепротерозойский прогиб Рокел в Западной Африке и его строение // Геотектоника. – 1972. – № 2. – С. 61–66.

9. Буфеев Ю. В., Щербакова И. П., Крятов Б. М. Некоторые особенности стратиграфии и метаморфизма серии Касила (западное побережье Африки) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1973. – № 8. – С. 17–23.

10. Викторов Г. Г., Сума А. М. Физические свойства пород кор выветривания в Гвинейской Народной Революционной Республике // Известия вузов. Геология и разведка. – 1983. – Т. 7. – С. 73–77.

11. Георгиевский А. Ф., Жегалло Е. А., Бугина В. М. Микробиота бокситов месторождения Ева (Гвинея-Бисау) // Литология и полезные ископаемые. – 2019. – № 6. – С. 557–567.

12. Гинзбург И. И. Некоторые физико-химические моменты в образовании глин // Исследование и использование глин – Львов, 1958.

13. Гинзбург И. И. Стадийное выветривание минералов. – М.: Изд-во АН СССР, 1946.

14. Гинзбург И. И. Кора выветривания, её диагностические признаки и значение в фациальном анализе. – М.: Госгеолтехиздат, 1957.

15. Грачев А. Ф., Сваричевская З. А., Селиверстов Ю. П. Выравнивание и коробразование // Геоморфология. – 1973. – № 2. – С. 3–10.

16. Джавахишвили Э. А. Выветривание майкопских глинистых пород как один из факторов в развитии оползней вдоль Абхазского побережья Чёрного моря // Труды ЛГП и ГПИ. – Тбилиси, 1967. – № 3. – С. 295–304.

17. Ежов Ю. А. и др. Карст в земной коре: распространение и основные типы. – Новосибирск: РАН, Сиб. отд-ние; Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии, 1992. – 75 с.

18. Забродская М. П. Антропогенная эволюция ландшафтов саванн Африки // Известия Всесоюзного географического общества. – 1968. – № 3.

19. Золотарев Г. С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания // Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. – 1971. – С. 4–25.

20. Камара А. С., Невечеря В. В., Ярг Л. А. Специальная инженерно-геологическая карта распространения эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинейской Республики // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2023. – № 6. – С. 26–40.

21. Коломенский Н. В. Методические указания по изучению процессов выветривания пород для инженерно-геологических целей. – М.: Госгеолиздат, 1952. – 66 с.

22. Коломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. – М.: Недра, 1968. – 342 с.

23. Коне А. М. Строение, состав и свойства латеритной коры выветривания региона Димбокро (Кот д'Ивуар) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 1. – С. 49–55.

24. Коне А. Н. М. Строение, состав и свойства латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского массива и их использование в дорожном строительстве: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. – М., 2012. – 23 с.

25. Крятов Б. М. и др. Этапы тектонического развития и металлогенические особенности запада Леоно-Либерийского щита (Западная Гвинея и Гвинея-Бисау) // Геотектоника. – М.: Наука, 1985. – № 6. – С. 43–61

26. Кузин С. В. Инженерно-геологические особенности латеритной коры выветривания мезозойских долеритов центральной части провинции Боке Гвинейской Республики // Инженерная геология. – 2013. – № 5. – С. 52–57.

27. Кузин С. В. Инженерно-геологические особенности грунтовой толщи в приокеаническом районе провинции Боке (Гвинейская Республика) // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 2014. – № 2. – С. 58–63.

28. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: учебник для вузов по специальности «Гидрогеология и инженерная геология». – Л.: Недра, 1971. – 478 с.

29. Мазарович А. О., Агапова Г. В., Соколов С. Ю., Турко Н. Н. Физико-географическая карта центральной части Атлантического океана // Геолого-геофизический атлас центральной части Атлантического океана. Т. I: Общие геофизические и геологические данные. – М.: ГИН РАН, 1999–2008.

30. Макарова М. А. и др. Особенности микрокомпонентного состава вод в латеритных бокситоносных корах выветривания на западе провинции Фута Джалон-Мандинго // Материалы II Всерос. научной конференции. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 290–294.

31. Мамедов В. И., Буфеев Ю. В., Никитин Ю. А. Геология Гвинейской Республики. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 341 с.

32. Мамедов В. И., М. А. Макарова, Н. М. Боева, Д. А. Внучков, Н. С. Бортников . Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Ч. 2: влияние состава материнских пород на распространённость и качество бокситов // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63. – № 6. – С. 576–602.

33. Михайлов Б. М., Броневой В. А., Одокий Б. Н., Селиверстов Ю. П., Теняков В. А., Якушев В. М., Богатырев Б. А. Латеритные покровы современной тропической зоны Земли // Литология и полезные ископаемые. – 1981. – № 4. – С. 85–100.

34. Осипов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А. Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989. – 234 с.

35. Пейве А. А. Особенности строения района разлома Сьерра-Леоне (Центральная Атлантика) // Доклады Академии наук. – 2001. – Т. 377. – № 6. – С. 803–806.

36. Пейве А. А. Структурно-вещественные неоднородности, магматизм и геодинамические особенности Атлантического океана // Доклады Академии наук. – 2003. – Т. 548.

37. Перельман А. И. Ряды миграций химических элементов в коре выветривания // Доклады АН СССР. – 1955. – Т. 103. – № 4.

38. Полынов Б. Б. Кора выветривания. Ч. 1. Процессы выветривания. Основные фазы и формы коры выветривания и их распределение. – Л.: АН СССР, 1934. – 242 с.

39. Полынов Б. Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв // Вестник АН СССР. – 1947. – № 12. – С. 58–63.

40. Попов И. В. Методика составления инженерно-геологических карт. – М.: Изд-во Мингео СССР, 1950. – 45 с.

41. Попов И. В. Основные положения учения о геологических формациях // Советская геология. – 1960. – № 4. – С. 24–37.

42. Попов И. В. Фациально-петрографические принципы выделения и классификации осадочных формаций // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 1959. – № 34 (1). – С. 8–14.

43. Попов И. В. Инженерная геология СССР. Т. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 178 с.

44. Попов И. В. Инженерная геология: учебник. – М.: Госгеолиздат, 1951.

45. Пущаровский Ю. М. Тектоника Атлантики с элементами нелинейной геодинамики // Тр. ГИН АН СССР. – 1994. – Т. 481. – С. 83.

46. Разумова В. Н. Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. – М.: Наука, 1977. – 156 с.

47. Селиверстов Ю. П. Эволюция рельефа и покровных отложений влажных тропиков Сахарской платформы. – Л.: Недра, 1973.

48. Селиверстов Ю. П. Поверхностные образования Западной Африки и их палеогеографическое значение // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – 1967. – Т. 145. – № 6.

49. Скиба С. И. О некоторых инженерно-геологических особенностях тропического элювия (на примере Гвинеи) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1979. – № 10. – С. 107–112.

50. Сколотнев С. Г. Регулярные и региональные вариации вещественного состава и строения океанической коры и структуры океанического дна Центральной, Экваториальной и Южной Атлантики: дис. … д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2019.

51. Слукин А. Д., Боева Н. М., Жегалло Е. А., Зайцева Л. В. Биоминералы латеритных бокситов: новые данные по результатам электронно-микроскопического изучения // Новые данные о минералах. – 2016. – № 51. – С. 52–61.

52. Соколов С. Ю., Мазарович А. О., Ефимов В. Н. Схема изученности центральной части Атлантического океана и материалы Геологического института РАН // Геолого-геофизический атлас центральной части Атлантического океана. Т. I: Общие геофизические и геологические данные. – М.: ГИН РАН, 1999–2008.

53. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. [1]: Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 212 с.

54. Тимофеев Д. А., Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Терминология карста. – М.: Наука, 1991. – 260 с.

55. Трофимов В. Т. Содержание, структура и современные задачи инженерной геологии. Ст. 2 // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 1997. – № 2. – С. 3–12.

56. Трофимов В. Т. Содержание, структура и современные задачи инженерной геологии. Ст. 1 // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 1996. – № 6. – С. 3–16.

57. Трофимов В. Т. Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 1979. – № 11. – С. 64–76.

58. Трофимов В. Т., Аверкина Т. И., Спиридонов Д. А. Инженерно-геологические структуры Земли. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 176 с.

59. Трофимов В. Т., Аверкина Т. И., Спиридонов Д. А. Карта типов инженерно-геологических структур Земли масштаба 1 : 5 000 000 // Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 53–54.

60. Трофимов В. Т. Развитие теоретического базиса инженерной геологии и её научных направлений. – М.: Академическая наука; Геомаркетинг, 2024. – 504 с.

61. Трофимов В. Т., Аверкина Т. И., Зилинг Д. Г. Карта инженерно-геологического районирования Северной Евразии масштаба 1 : 4 000 000. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 57 с.

62. Швец В. Б., Кульчитский Г. Б., Сырокомский Ю. В. Характеристика различных зон выветривания и количественная оценка их свойств для строительных целей // Проблемы инженерной геологии. – 1970. – С. 164–167.

63. Школьник Э.Л., Жегалло Е.А., Богатырев Б.А., БугельскийЮ.Ю., Слукин А.Д., Новиков В.М., Еганов Э.А., Георгиевский В.В., Жуков В.В., Мыскин В.И., Одокий Б.Н. Биоморфные структуры в бокситах (по результатам электронно-микроскопического изучения). – М.: Эслан, 2004. – 184 с

64. Ярг Л. А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. – М.: Недра, 1991. – 136 с.

65. Ярг Л. А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. – М.: Недра, 1974. – 144 с.

66. Al-Ani H. Categorising geotechnical properties of Surfers Paradise soil using geographic information system (GIS) // Int. J. Geomate. – 2013. – Vol. 5. – № 1. – P. 618–625

67. Auler A. S., Parker C. W., Barton H. A., Soares G. A. Iron Formation Caves: Genesis and Ecology // Encyclopedia of Caves. –Elsevier, 2019. – P. 559–566.

68. Auler A. S., Piló L. B., Parker C. W., Senko J. M., Sasowsky I. D., Barton H. A. Hypogene Cave Patterns in Iron Ore Caves: Convergence of Forms or Processes? // Hypogene Cave Morphologies. – KWI Spec. Publ. 18, 2014. – P. 15–19.

69. Auler A. S., Sauro F. Quartzite and quartz sandstone caves of South America // Encyclopedia of Caves. – Elsevier, 2019. – P. 850–860.

70. Ballais J.-L., Chave S., Dupont N., Masson É., Penven M.-J. La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables // Physio-Géo. – 2011. – Vol. 5.

71. Bessoles B. Géologie de l'Afrique : le Craton Ouest Africain. – 1977. – 403 p.

72. Bhat D. K., et al.. Mechanical properties and microstructural analysis of laterite stone masonry from India for sustainable construction // Discov. Mater. – 2024. – Vol. 4. – № 1. – Art. 91.

73. Boeglin J. L., Mortatti J., Tardy Y. Érosion chimique et mécanique sur le bassin amont du Niger (Guinée, Mali): bilan géochimique de l'altération en milieu tropical // C. R. Acad. Sci. Sér. 2a Sci. Terre Planètes. – 1997. – Vol. 325. – № 3. – P. 185–191.

74. Bogatyrev B. A., Zhukov V. V., Tsekhovsky Yu. G. Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits // Lithol. Miner. Resour. – 2009. – Vol. 44. – № 2. – P. 135–151.

75. Bourgeon G., Gunnell Y. La latérite de Buchanan // Étude Gest. Sols. – 2005. – Vol. 12. – № 2. – P. 87–99.

76. Brinckmann J., Meinhold K. D. La Géologie de la Chaîne des Bassarides et des Terrains environnants au Nord-Ouest de la Guinée. – 2007. – Fasc. XV. – 446 p.

77. Burton G. J., Pineda J. A., Sheng D., Airey D. Microstructural changes of an undisturbed, reconstituted and compacted high plasticity clay subjected to wetting and drying // Eng. Geol. – 2015. – Vol. 193. – P. 363–373.

78. Chetelat E. Cartes géologiques à 1 : 500 000 et Notices explicatives sur les feuilles KINDIA – Ouest et Est. – 1946.

79. Declaire L. Cartes géologiques à 1 : 500 000 et Notices explicatives sur les feuilles CONAKRY E. et O. – 1957.

80. Diallo A. K., Conte M. S. M., Kaba O. B., Soumah A., Camara M. Petrological and statistical studies of the Limbiko Bauxite Deposit, Republic of Guinea // Int. J. Geosci. – 2023. – Vol. 14. – № 4. – P. 351–376.

81. Diallo D., Petrovski A., Loutcenko N., Balde M. Carte géologique à 1 : 200 000 de la République de Guinée, Feuille LABÉ (C-28-VI et le Nord de la Feuille C-28-XVI) et Notice explicative. – 1976.

82. Diané I. Étude de suivi du trait de côte et schéma directeur littoral de l'Afrique de l'Ouest: étude de cas en Guinée. – UEMOA, 2010.

83. DNEF. Annuaire des statistiques forestières 2004–2013: rapport. – Conakry, 2015.

84. Dorbath C., Dorbath L., Gaulon R., George T., Mourgue P., Ramdani M., Robineau B., Tadili B. Seismotectonics of the Guinean Earthquake of December 22, 1983 // Geophys. Res. Lett. – 1984. – Vol. 11. – № 10. – P. 971–974.

85. Egal E., Costea A. C., Diallo A., Diallo S. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Faranah. – 1999.

86. Egal E., Lahondere D., Costea A. C. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Siguiri. – 1999.

87. Emmanuel L., Rafélis M. de, Pasco A. Géologie. – 4e éd. – Malakoff: Dunod, 2018.

88. Feybesse J. L., Billa M., Costea A. C. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Kankan. – 1999.

89. Feybesse J. L., Bangoura A., Billa M. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Kissidougou – Kerouné. – 2003.

90. Furon R. Géologie de la Guinée Française // Bull. Géol. Min. Colon. – 1943. – № 19.

91. Goloubinow R. Les bauxites de Tougué, French West Africa // Bull. Serv. Min. – 1938. – № 1.

92. Goloubinow R. Géologie et ressources en or du Nord-Est de la Guinée Française. – Nancy: Univ. Nancy, 1936.

93. Goloubinow R., Nickles M. Cartes géologiques à 1 : 500 000 et Notices explicatives sur les feuilles KANKAN – Ouest et Est. – Dakar, 1948.

94. Heckmann M., Brugeron A., Lewis M. Ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO / BGR, BGS, BRGM, EAWAG & UNESCO. – 2022.

95. Iliescu D., Costea A. C., Diabate B. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Falama – Manankoro. – 1999.

96. Irinyemi S. A., Lombardi D., Ahmad S. M. Seismic hazard assessment for Guinea, West Africa // Sci. Rep. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – Art. 2566.

97. Issiakou M. S. Caractérisation et valorisation des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger : thèse. – Université de Bordeaux, 2016.

98. Kante I. K., Sall S. M., Badiane D., Diaby I., Diouf I. Seasonal variability of rainfall and thunderstorm in Guinea over the period 1981 to 2010 // Afr. J. Environ. Sci. Technol. – 2019. – Vol. 13. – № 9. – P. 324–341.

99. Keita M. L., Diané I. Études d'érosion côtière en République de Guinée: cas de Koba et de Kaback: études effectuées dans le cadre régional de suivi du trait de côte et élaboration d'un schéma directeur du littoral de l'Afrique de l'Ouest. – 2010. – 75 p.

100. Konaté A. A., Kaba O. B., Conté M. S. M., Zaheer M., Thiam B. M., Oularé F., Cissé F. Detection of subsurface cavities in the structurally bounded Labé Prefecture area, Republic of Guinea using two-dimensional electrical resistivity tomography (ERT) // Geomech. Geoengin. – 2024. – Vol. 19. – P. 569–585.

101. Lahondere D., Iliescu D., Bah M. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Damaro – Odienné. – 1999.

102. Loua R. T. Variabilité et tendances des paramètres météorologiques en Guinée: analyse des forçages par méthodes numériques: thèse. – Saint-Denis: Université de la Réunion, 2020.

103. Mbengue M. T. M. Caractérisation géomécanique des sols bruts et traités pour une meilleure utilisation en construction routière: cas des emprunts de Saaba et de Kamboinsé au Burkina

Faso : thèse. – Normandie Université; Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2023.

104. Ménanteau L. L'érosion côtière et ses implications archéologiques: exemple du golfe ibéro-marocain // Méditerranée. – 2021. – Vol. 133. – P. 107–126.

105. Obermuller A. Observations sur la série métamorphique des feuilles Kissidougou-Est et Kissidougou-Ouest (Guinée Française) // Bull. № 1 Serv. Min. O. F. – Dakar, 1938.

106. Obermuller A. Description pétrographique et étude géologique de la région forestière de la Guinée Française // Bull. № 5 Serv. Min. O. F. – 1941.

107. Obermuller A. Notice explicative sur la feuille Kissidougou-Est et Tinsou-Est et carte géologique au 1 : 500 000. – Dakar, 1948.

108. Obermuller A. Notice explicative sur la feuille Kissidougou-Ouest et carte géologique au 1 : 500 000. – Dakar, 1951.

109. Obermuller A., Roques M. Discordance de la série antécambrienne du Simandou sur les gneiss de Guinée (A. O. F.) // C. R. Acad. Sci. – 1946. – Vol. 223. – № 26.

110. Orange D. Hydroclimatologie du Fouta Djalon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest): thèse. – Strasbourg: Univ. Louis Pasteur, 1990.

111. Ouyang Y., Liu H., Wang X., Liu S., Zhang J., Gao H. Spatial distribution prediction of laterite bauxite in Bolaven Plateau using GIS // J. Earth Sci. – 2019. – Vol. 30. – № 5. – P. 1010–1019.

112. Parker C. W., Auler A. S., Senko J., Sasowsky I. D., Piló L. B., Smith M., Johnston M., Barton H. Microbial Iron Cycling and Biospeleogenesis: Cave Development in the Carajás Formation, Brazil // ICS Proceedings. – Prague, 2013. – P. 442–446.

113. Petrovski A., Zelepouguine V., Ivanov V. Carte géologique à 1 : 200 000 de la République de Guinée, Feuille Kindia, C-28-XVIII et Partie Sud de la Feuille C-28-XII et Notice explicative. – Conakry: CPDM; Moscou: OZGEO, 1973.

114. Piló L. B., Auler A. S., Martins F. Carajás National Forest: Iron Ore Plateaus and Caves in Southeastern Amazon // Landscapes and Landforms of Brazil. – Springer, 2015. – P. 273–283.

115. Santha Kumar G. [et al.]. Characterization of laterite soil and its use in construction applications: a review // Resour. Conserv. Recycl. Adv. – 2022. – Vol. 16. – Art. 200120.

116. Schlüter T. Geological atlas of Africa: with notes on stratigraphy, tectonics, economic geology, geohazards and geosites of each country. – Berlin: Springer, 2006. – 272 p.

117. Serrano A. A., Oteo C. S. Geotechnical behaviour of the laterite soils of West Africa // Proc. III Int. Congr. Int. Assoc. Eng. Geol. – 1978. – P. 328–338.

118. Singh A., Noor S., Chitra R., Gupta M. Applications of GIS in geotechnical engineering: some case studies // Int. J. Sci. Eng. Sci. – 2018. – Vol. 2. – № 3. – P. 34–38.

119. Sylla A. K. C., Chagnon J. Y. Rapport technique final: la cartographie géotechnique de la ville de Conakry et de la presqu'île de Kaloum/Guinée II. – 1995.

120. Tardy Y. Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. – Paris: Masson, 1993. – 472 p.

121. Thiéblemont D., Delor C., Goujou J. C. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille Beyla – Touba. – 1999.

122. Thiéblemont D., Goujou J. C., Bah M. Carte géologique de la Guinée à 1/200 000: Feuille N'Zérékoré – Tinsou. – 1999.

123. Thiéblemont D. Géologie et pétrologie de l'Archéen de Guinée: une contribution régionale à la formation de la croûte continentale: thèse. – Brest: Univ. de Bretagne Occidentale, 2005.

124. Traoré C. V., Conté M. S. M., Keita D., Diallo A. K., Diallo M., Conde M. Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of the Boundou-Waadé Bauxite Deposit (Sangaredi, Republic of Guinea) // J. Geosci. Environ. Prot. – 2024. – Vol. 12. – № 12. – P. 28–45.

125. Trompette R. Le Précambrien supérieur et le Paléozoïque inférieur de l'Adrar de Mauritanie (bordure occidentale du bassin de Taoudeni, Afrique de l'Ouest): un exemple de sédimentation de craton: étude stratigraphique et sédimentologique. – Marseille (St-Jérome), 1973. – 573 p.

126. Villeneuve M. Étude géologique sur la bordure sud-ouest du Craton Ouest-Africain: thèse d'État. – Marseille, 1984.

127. Plan d'Action National d'Adaptation (PANA) aux changements climatiques. – Conakry: Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, de l'Environnement, des Eaux et Forêts; UNFCCC; GEF; PNUD, 2007.