

На правах рукописи

КОНЕ АМБЕНЬЯН НИВОЙО МАТИЛЬДА

**СТРОЕНИЕ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ЛАТЕРИТНЫХ КОР
ВЫВЕТРИВАНИЯ ЛЕОНО-ЛИБЕРИЙСКОГО МАССИВА И ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2012

Работа выполнена на кафедре инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С.Орджоникидзе.

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

Официальные оппоненты: доктор, геолого-минералогических наук, профессор
Кузькин Вячеслав Иванович, ФГУП ВИМС,
главный научный сотрудник
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, **Огородникова Елена Николаевна**, РУДН

Ведущая организация: ФГУП «Институт минералогии, геохимии и
кристаллохимии редких элементов »

Защита состоится 24 мая 2012 года в 15.00, в ауд. 4-73 на заседании диссертационного совета ДМ 212.121.01, созданного на базе Российского государственного геологоразведочного университета им. С.Орджоникидзе по адресу 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. С.Орджоникидзе.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 117997, г.Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д.23, Российский государственный геологоразведочный университет, ученому секретарю диссертационного совета ДМ 212.121.01.

Автореферат разослан «23» апреля 2012 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Вязкова О.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Под влиянием ландшафтно-климатических условий Экваториальной Африки развитие процесса выветривания в зоне гипергенеза приводит к образованию коры латеритного типа. В работе рассматривается строение, состав, структурно-текстурные особенности и свойств пород латеритных кор выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского щита.

Проблема изучения латеритной коры выветривания Африканского континента является одной из важнейших в инженерной геологии при решении научных вопросов, а также практических задач в области строительства. Геохимическая зональность месторождений железа, бокситов, марганца и др. формируется в процессе изменения минерального и химического состава пород при выветривании. Разработка общей теории экзогенных геологических процессов опирается на проблему формирования пород, изменения их свойств и состава при выветривании. Прогноз развития экзогенных геологических процессов (оползней, обвалов, эрозии и др.), оценка временной и длительной устойчивости природных склонов, откосов выемок и бортов карьеров, а также масштаб и интенсивность процессов абразии, эрозии и других могут быть разработаны только с учетом процесса выветривания. Глубина заложения, конструкции наземных сооружений, производство работ, способы возведения подземных сооружений, конфигурация и углы заложения откосов и карьеров зависят от состава и свойств выветрелых пород. Оценка (прогноз) устойчивости и проектирование искусственных склонов, откосов и выемок при строительстве линейных сооружений должна включать количественную оценку физико-механических свойств, степени и скорости выветривания пород разных геолого-генетических комплексов и петрографических типов в различных климатических областях. Использование грунтов латеритной коры выветривания в качестве материала при дорожном строительстве невозможно без глубокого изучения их химического и минерального составов, предопределяющих устойчивость дорожных сооружений при эксплуатации.

Цель работы состоит в установлении закономерностей изменчивости строения, состава, структурно-текстурных особенностей и свойств латеритных кор выветривания, сформировавшихся в тропических условиях, на примере Леоно-Либерийского кристаллического щита, и оценка латеритных грунтов как материала для дорожного покрытия.

Задачи работы. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Выявление особенностей строения, состава и свойств латеритной коры выветривания гранито-гнейсов Кот д'Ивуара.

2. Установление закономерностей пространственной изменчивости строения, состава и свойств латеритной коры выветривания Леоно-Либерийского массива.

3. Уточнение границ распространения TWK кор выветривания в пределах Леоно-Либерийского щита.

4. Разработка специальной методики исследований латеритной коры и процесса выветривания.

5. Оценка латеритных грунтов в качестве строительного материала.

Фактический материал и методы исследований. В основу работы положены результаты полевых, опытных и лабораторных исследований выполненных лично автором в Кот д'Ивуаре и лаборатории кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ, МГУ, Уральского государственного горного университета, а также «Мосгоргеотрест». Кроме того, были использованы материалы научных отчетов и публикации по профилю проблемы.

В комплексе проведенных лабораторных работ применен широкий спектр методов, таких как петрографический, рентгеноструктурный, рентгенофлуоресцентный, микрозондовый, электронное микросканирование, мокрое сжигание, определения физико-механических свойств.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Впервые исследованы строение, состав и свойства латеритных кор выветривания, развитых на территории Кот д'Ивуара с применением комплекса современных методов.

2. Осуществлено расчленение латеритных кор на зоны – трещинную, обломочную (глыбовую и щебенистую), литомарж, дисперсную, вторичной цементации (кирасу) и обосновано выделение VI зоны – зоны деструктуризации. Впервые изучена каждая зона: установлено изменение химического и минерального состава, структурно-текстурных особенностей, структурных связей и свойств грунтов, слагающих латеритную кору выветривания по ее профилю и простираению.

3. Впервые выполнены обобщение и анализ латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского щита, распространенных на территориях Кот д'Ивуара, Гвинеи и Ганы, позволившие выявить закономерности изменчивости состава и свойств латеритных кор выветривания гранито-гнейсов.

4. Предложена методика исследования латеритных кор выветривания в инженерно-геологических целях.

5. Выполнена оценка латеритных грунтов в качестве строительного материала для дорожного покрытия.

Защищаемые положения

1. Латеритные коры выветривания Кот д'Ивуара обладают четко выраженной зональностью строения. В вертикальном профиле кор выветривания автором выделено 6 зон, формирование которых обусловлено температурно-влажностными условиями экваториальной Африки. Грунты, слагающие зоны латеритных кор выветривания, обладают существенными различиями в химическом, минеральном, гранулометрическом составах, структурно-текстурном строении. Это определяет пространственную изменчивость их физико-механических свойств, что необходимо учитывать при инженерно-геологической оценке грунтов.

2. Латеритные коры выветривания сложены грунтами широкого диапазона (относящими к разным классам): скальным, полускальным, обломочным, дисперсным, что требует при их изучении применения широкого комплекса специальных методов исследований. Это является основанием выделения особого класса латеритных грунтов в их общей классификации.

3. Механизм формирования латеритных грунтов приводит к относительной концентрации в их составе оксидов железа (до 30 %) и аморфного кремнезема, к формированию вторичных цементационных связей, предопределяющих их “строительные свойства” (устойчивость к внешним воздействиям в условиях тропического климата).

Практическая значимость работы заключается в научном обосновании оценки возможности использования латеритных грунтов в качестве материала дорожного покрытия в экваториальных тропических странах. Результаты работы могут быть применены при проведении инженерно-геологических изысканий при строительстве и организации мониторинга инженерных сооружений возведенных на латеритных корах выветривания.

Апробация работы. Основные материалы и защищаемые положения диссертационной работы изложены в докладах на 5-ой и 6-ой международных научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (Москва, РГГРУ, 2010, 2012); 10-ой международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, РГГРУ, 2011).

Публикации. По теме диссертации опубликована 3 работы и одна научная статья в ведущем рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК.

Личный вклад автора. Диссертант лично провела полевые и лабораторные исследования, сбор, анализ, интерпретацию, обобщение представленных в диссертации инженерно-геологических материалов, что явилось основой для разработки методики инженерно-геологического изучения латеритных кор выветривания тропических стран.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 171 страница машинописного текста, 70 рисунков, 33 таблицы, списка литературных источников из 84 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук Л.А. Ярг за поддержку и ценные советы, которые способствовали выполнению данной работы.

Диссертант выражает особую благодарность доктору геолого-минералогических наук профессору В.Н. Соколову, доктору геолого-минералогических наук профессору В.В. Дмитриеву, кандидатам геолого-минералогических наук А.В. Барановой, И.В. Абатуровой, Д.Н. Горобцову, Г.С. Беловой за оказанную помощь. Автор искренне благодарен всему коллективу кафедры инженерной геологии РГГРУ и коллективу ООО «ИГИТ» за оказанную поддержку, помощь в выполнении работы и ее обсуждение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Выветривание горных пород. Состояние проблемы. В настоящей главе рассматривается состояние вопроса изучения процесса выветривания, как в практическом, так и в теоретическом отношении.

Выветривание горных пород – геологический процесс взаимодействия горных пород, слагающих приповерхностную часть земной коры, с космосом, атмосферой, биосферой, искусственными компонентами природной среды. Он включает в себя разнообразные процессы разрушения и изменения горных пород и осадков, происходящие на земной поверхности и вблизи нее под воздействием физических, химических и органических агентов, в результате которого изменяются строение, состав, структурно-текстурные особенности и свойства горных пород, состав подземных вод и газов в зоне гипергенеза.

Изучение кор выветривания и процессы их формирования, как одна из основных теоретических проблем современной инженерной геологии, выдвигалась Ф.П. Саваренским, В.А. Приклонским, Н.В. Коломенским, Г.С. Золотаревым, В.Д. Ломтадзе, Л.А. Ярг.

Вопрос об изменении физико-механических свойств пород при выветривании очень важен при решении инженерных задач. Он нашел отражение в работах Ф.П. Саваренского, М.В. Чуринова, Н.В. Коломенского, Г.С. Золотарева, С.В. Дроздова, В.Д. Ломтадзе, В.В. Добровольской, В.Б. Швеца, Р. Лама, Ф. Мелло, Е. Руддока, А.И. Перельмана, Л.А. Ярг, А.М. Царевой, В.Д. Дирмана, А. Джеймса, Н. Тхання, М. Галоса. Количественной оценке степени выветривания пород посвящены исследования Н.В. Коломенского, Е.М. Сергеева и З.К.

Барановой, А. Хэмрола, П. Н. Панюкова, С.Д. Воронкевича, В.Б. Швеца, Г.С. Золотарева, Л.А. Яр, Ю.Д. Матвеева. За рубежом значительный вклад в учение о коре выветривания внесли шведский учёный О.Тамм, американский учёный З.Келлер, немецкий геолог Г. Гаррасовиц и др.

Вопросами геохимии латеритных кор выветривания многих стран Африки занимались: Bruno Boulange, Jean Delvigne, и др. (Кот д'Ивуара); Grandin, Du Bois, Jeffrey, J. W. S. De Graft-Johnson, Harbhajan Bhatia (Ганы), Ekodeck G.E. (Камеруна), Гвинеи и др. Вопрос об образовании латеритов на разных типах пород (магматических, метаморфических и осадочных) очень важен и нашел отражение в работах Ekodeck G.E., Yves Tardis, K.B. Kamgang, Onna.

Развитие процесса выветривания определяется совокупностью региональных, зональных и техногенных факторов. Рельеф и его расчлененность, гипсометрическое положение пород относительно базиса эрозии, состав, структурно-текстурные особенности горных пород, их трещиноватость, раздробленность, тектоническая нарушенность создают условия для проникновения агентов выветривания.

К числу компонентов внешних сред, активно реагирующих с горными породами в ходе выветривания, относятся: солнечное излучение; атмосферные осадки; колебания температур; кислород и углекислый газ атмосферы; растительность; почвы; микроорганизмы (бактерии); промышленные предприятия, их жидкие, твердые, газообразные отходы.

Тип коры выветривания по характеру отношения количества атмосферных осадков к величине испарения целесообразно разделять на «температурно-влажностные классы коры выветривания» (ТWK) (Л.А. Яр). Зональные факторы являются следствием климатической зональности Земного шара, поэтому строение, состав и свойства пород кор выветривания следует рассматривать в зависимости от их положения в той или иной климатической зоне. Температурно-влажностный класс коры выветривания – это семейство кор выветривания, сформированное в условиях определенных температурного и влажностного режимов и отвечающим их типам почв и биоценозов. В строении коры выветривания выделяется до 5 зон (снизу вверх): трещинную, обломочную (глыбовую и щебнистую), литомарж, дисперсную (глинистую и латерит), вторичной цементации. Зональность строения кор выветривания предопределяет изменчивость физико-механических свойств в вертикальном профиле и их различия в разных зонах.

Процесс выветривания определяется с одной стороны, как процесс механического разрушения структуры и микроструктуры, изменения минеральных и химических составов и свойств горных пород, а с другой – как процесс переформирования вновь образованных грунтов

(коры выветривания), имеющих другое текстурно-структурное строение, состав и свойства. Процесс выветривания горных пород характеризует его продолжительность (время преобразования первичных минералов) и зональность (пространственная и вертикальная).

Глава 2. Латеритные коры Африканского континента. В главе рассматриваются условия формирования латеритных кор выветривания Африканского континента.

Интерес к латеритным корам выветривания Африканского континента обусловлен следующими проблемами: поисками полезных ископаемых (бокситы, железные, марганцевые, никелевые, титановые руды); изучением денудационных поверхностей Африки; использованием латеритных кор выветривания в качестве материала (дорожных насыпей, изготовление кирпичей и черепиц).

Процессы формирования латерита включает в себя 2 стадии: стадию преимущественного развития физических процессов – механическое измельчение горных пород без изменения минералогического и химического состава (с точки зрения инженерной геологии продукты, образовавшиеся на этой стадии, называются элювиальными); стадия латеритизации (в основном химические и химико-биологические процессы). Эта стадия характеризуется, с одной стороны, интенсивным выносом оснований Na, Ca, Mg, K, а с другой – накоплением кремнезёма (SiO_2), оксидов Al, Fe и Ti.

Особенность формирования латеритных кор выветривания заключается в том, что они образуются в климатических условиях тропических зон, для которых характерны: постоянная высокая температура воздуха, благоприятствующая развитию и ускорению химических процессов; избыток атмосферных осадков – вода это самый важный компонент, способствующий миграции компонентов и значительно влияющий на тип и интенсивность процесса выветривания; накопление огромных масс отмирающего органического вещества, переработка которого в почве микроорганизмами продуцирует органические и неорганические кислоты, которые существенно влияют на переработку субстрата.

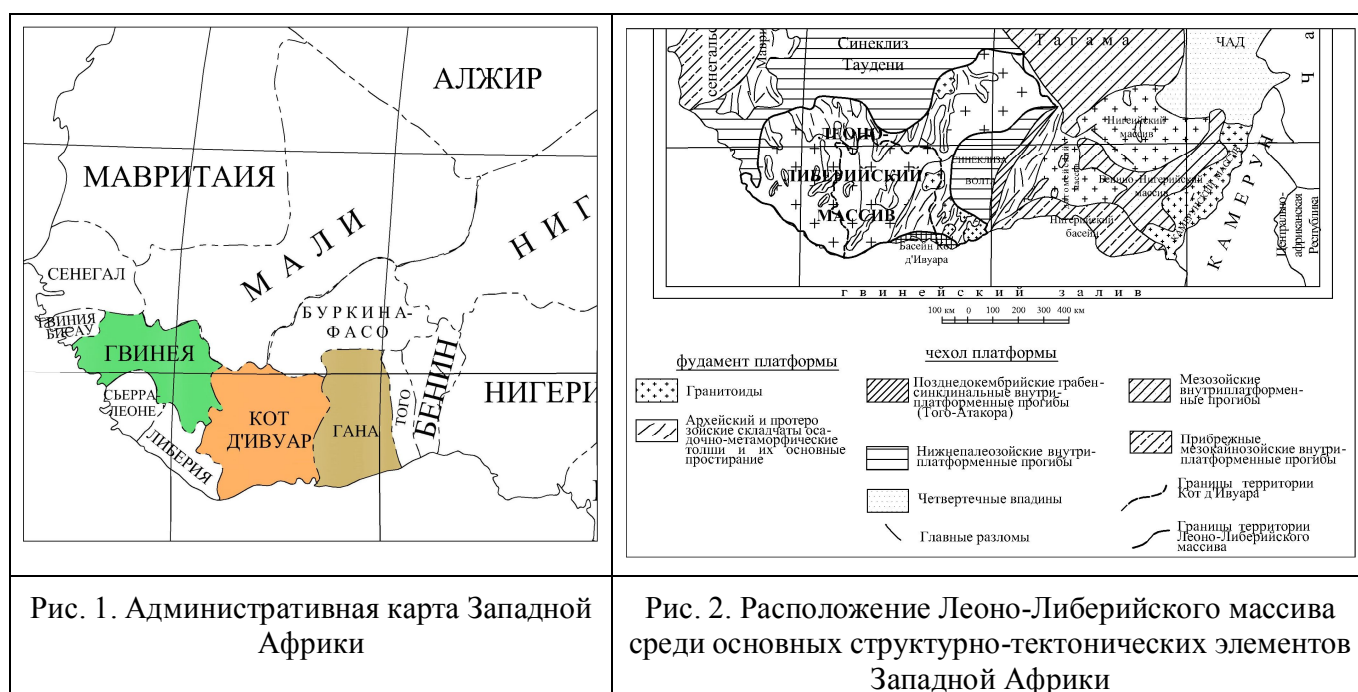
Мощная латеритная кора выветривания формируется только при сочетании ряда условий: влажного и жаркого климата, определяющего интенсивное развитие выветривания; равнинного рельефа, обеспечивающего вертикальный сток атмосферных вод и слабое проявление плоскостного смыва; геологической длительности процессов выветривания.

Глава 3. Строение, состав и свойства латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского кристаллического массива. В главе рассматриваются особенности строения,

состава, текстурно-структурных особенностей и свойства латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского массива.

Леоно-Либерийский кристаллический массив – крупнейший (площадью около одного миллиона квадратных километров) в структурно-тектоническом строении древней Африкано-Аравийской платформы. Он охватывает территории государств Кот д’Ивуара, Гвинеи, Ганы (рис. 1, рис. 2).

На протяжении длительного исторического развития массив испытывал устойчивые положительные движения, к настоящему времени пенепленизирован (абс. отм. 300 – 800 м) процессами денудации; его поверхность покрыта мощной корой выветривания.



Климатические условия экваториальной Африки (годовое количество атмосферных осадков 1600 – 2000 мм; высокий температурный режим – 30°C; богатая биота) создают условия для формирования кор выветривания латеритного типа.

В геологическом строении Кот д’Ивуара принимают участие отложения архейского, протерозойского, мезо-кайнозойского возрастов. Образования архейского возраста, серия Бирим, развиты в пределах страны наиболее широко. Они представлены мелкозернистыми гранитами гнейсовидной текстуры. Состав гранитов следующий: кварц 19-27%, микроклин – 10-50%, плагиоклаз 10-30%, биотит – 5-15%. Особенностью батолитов является большое количество внедрений различных жильных тел, часто различного минералогического состава, взаимно прорывающих друг друга.

Исследование латеритной коры выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского щита на территории Кот д'Ивуара потребовало использование широкого набора методов и разработки специальной методики исследования, которая позволила бы: выявить особенности переформирования пород в процессе тропического выветривания гранито-гнейсов; установить характер изменения химического и минерального составов и, соответственно, геохимическую зональность в профиле кор выветривания; определить минеральный состав грунтов дисперсной зоны, обуславливающих их водно-физические свойства; изменения структурных связей и структурно-текстурных особенностей грунтов, определяющих их прочностные и деформационные свойства.

Решение приведенных выше задач потребовало от автора разработки оригинальной методики инженерно-геологических исследований. Методика включала сбор и обобщение литературных и фондовых материалов о корях выветривания тропических стран, в том числе Кот д'Ивуара, Гвинеи и Ганы, полевые и лабораторные работы.

В ходе полевых работ автором было выполнено визуальное описание разрезов кор выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского массива; расчленение коры выветривания на зоны; позонное опробование грунтов (отбор представительных проб из каждой выделенной зоны) для лабораторных исследований и моделирования; полевые исследования физико-механических свойств (включая прессиометрические и пенетрационные испытания).

Детальное исследование строения, состава и свойств грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского кристаллического массива на территории Кот д'Ивуара позволило установить дополнительную VI зону – зону деструктуризации кирасы (зона деструктуризации). Таким образом, в вертикальном профиле можно выделить снизу вверх следующие зоны: I – трещинная зона, II – обломочная зона, III – литомарж, IV – дисперсная зона, V – зона вторичной цементации, VI – деструктуризации кирасы (рис. 3).

Исследования химического и минерального состава проводились путем рентгеноструктурного, рентгено-флуоресцентного, микрозондового, электронного микроскопического анализов. Изучение микроструктуры грунтов было выполнено методом электронного сканирования на электронном микроскопе LEO 1450VP с гарантийным разрешением 2,5 нм. Определение химического состава – микрозондом Oxford instrument INCA 300. Это позволило вскрыть природу формирования физико-механических свойств грунтов коры выветривания в зависимости от их состава и структурно-текстурных особенностей.

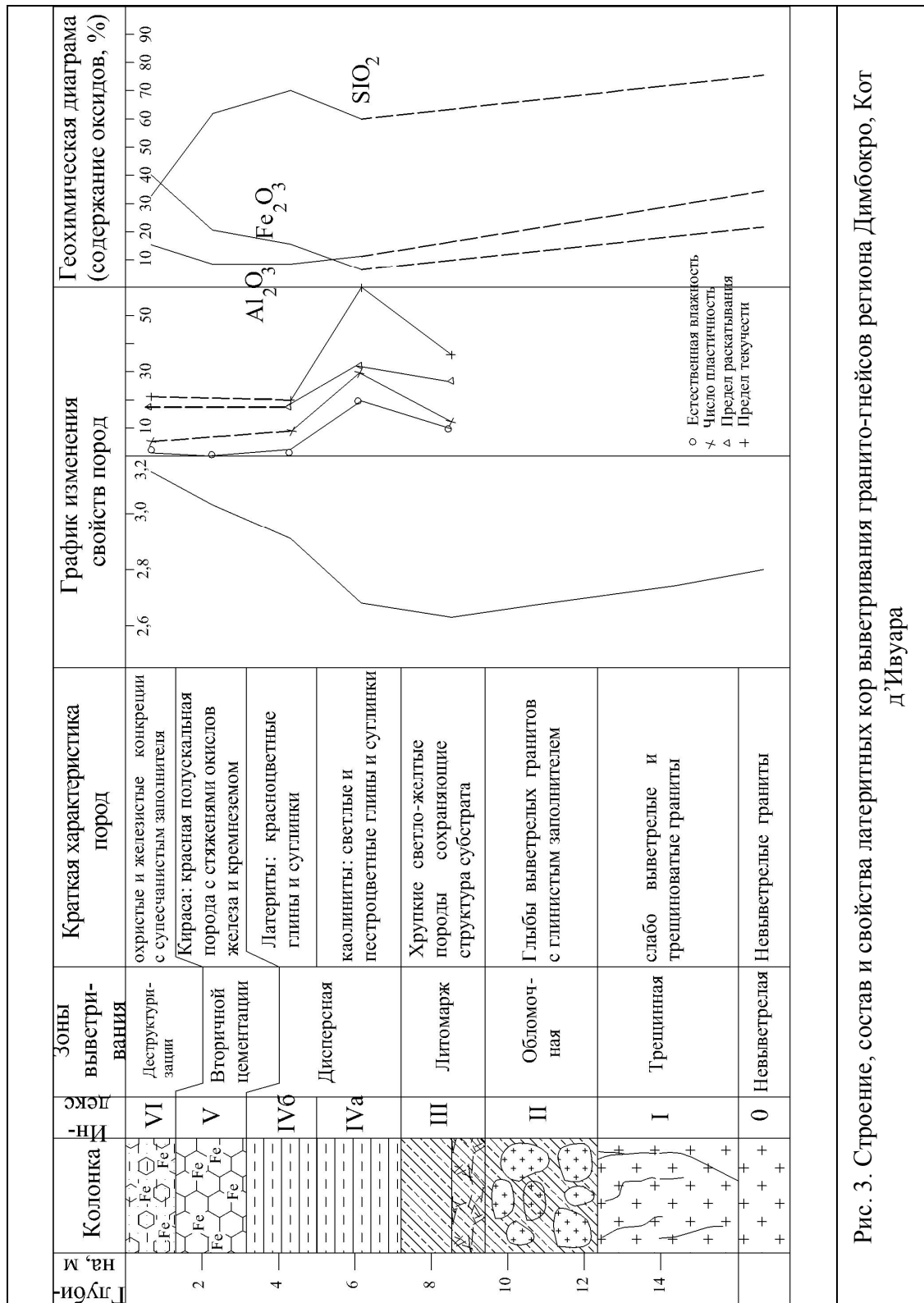


Рис. 3. Строение, состав и свойства латеритных кор выветривания гранито-гнейсов региона Димбокро, Кот д'Ивуара

Детальные исследования грунтов различных зон включили изучение химического, петрографического, минерального состава, структурно-текстурных особенностей и физических свойств грунтов, слагающих различные зоны латеритной коры выветривания гранито-гнейсов. Это позволило вскрыть природу формирования свойств грунтов в зависимости от их состава и структурно-текстурных особенностей.

Растровое электронное микросканирование (РЭМ) и микрозондовый анализ показали, что *грунты подзоны каолинитовых глин* состоят из неориентированных частиц каолинита, имеющих псевдогексональную форму с угловатыми контурами (рис. 4а) и включения обломков полевых шпатов (рис. 4б). Глинистые частицы находятся на стадии формирования: при этом каолининовые частицы псевдоморфно замещают микрокристаллы полевых шпатов (рис. 3в, г).

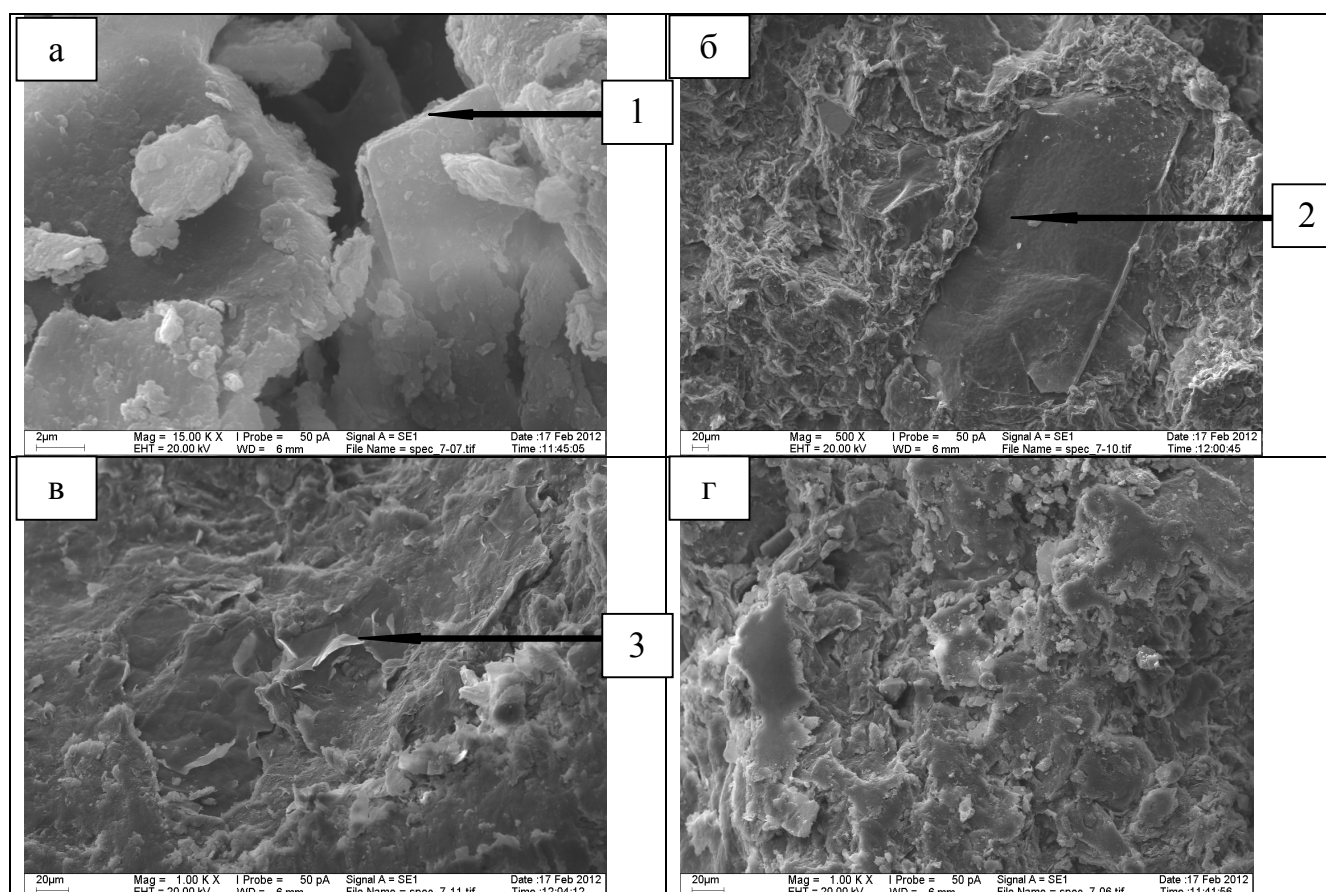


Рис. 4. Фрагменты микроструктуры грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов (Димбокро, Кот д'Ивуар) при разных увеличениях.

Подзона каолинитовых глин: 1 гексагональные контуры, формирующиеся частицы; 2 - обломок полевого шпата; 3 – глинистые частицы пластинчатой формы

Грунты подзоны латеритов состоят из глинистой матрицы, сложенной неориентированными глинистыми и пылеватыми частицами размером 1 – 2 мкм, с включениями более крупных пылеватых и песчаных зерен (рис. 5 а, б). Также отмечены включения оксидов железа глобулярной формы (рис. 5 в) и напоминающие свернутые цепочки (рис. 5 г).

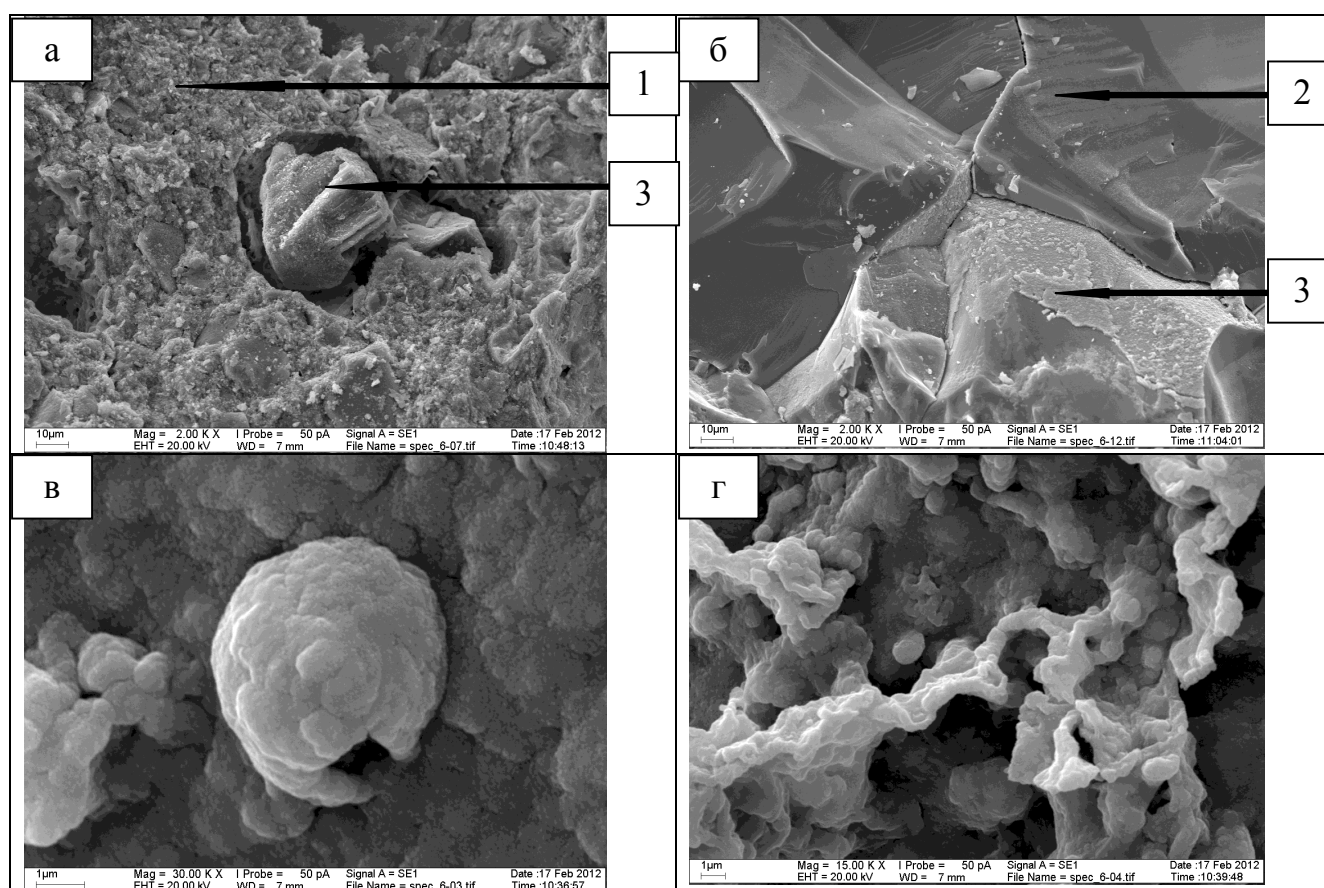


Рис. 5. Фрагменты микроструктуры грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов (Димбокро, Кот д'Ивуар) при разных увеличениях.

Подзона латеритов: 1 – глинистая матрица, 2 – зерна кварца, 3 – железистая рубашка; характер распределения оксидов железа: в – глобулярной формы, г – формы свернутой цепочки

Грунты зоны вторичной цементации, по данным микроструктурных исследований сложены в основном сцементированными обломками полуразрушенных микрокристаллов кварца (рис. 6 а) и железистой коркой (рис. 6 б). Корка представлена скоплениями оксидов железа различных форм: тонкодисперсных окристаллизованных угловатых пластинок (рис. 6 в) и сетчатой структуры с размером ячейки 0,5 мкм (рис. 6 г).

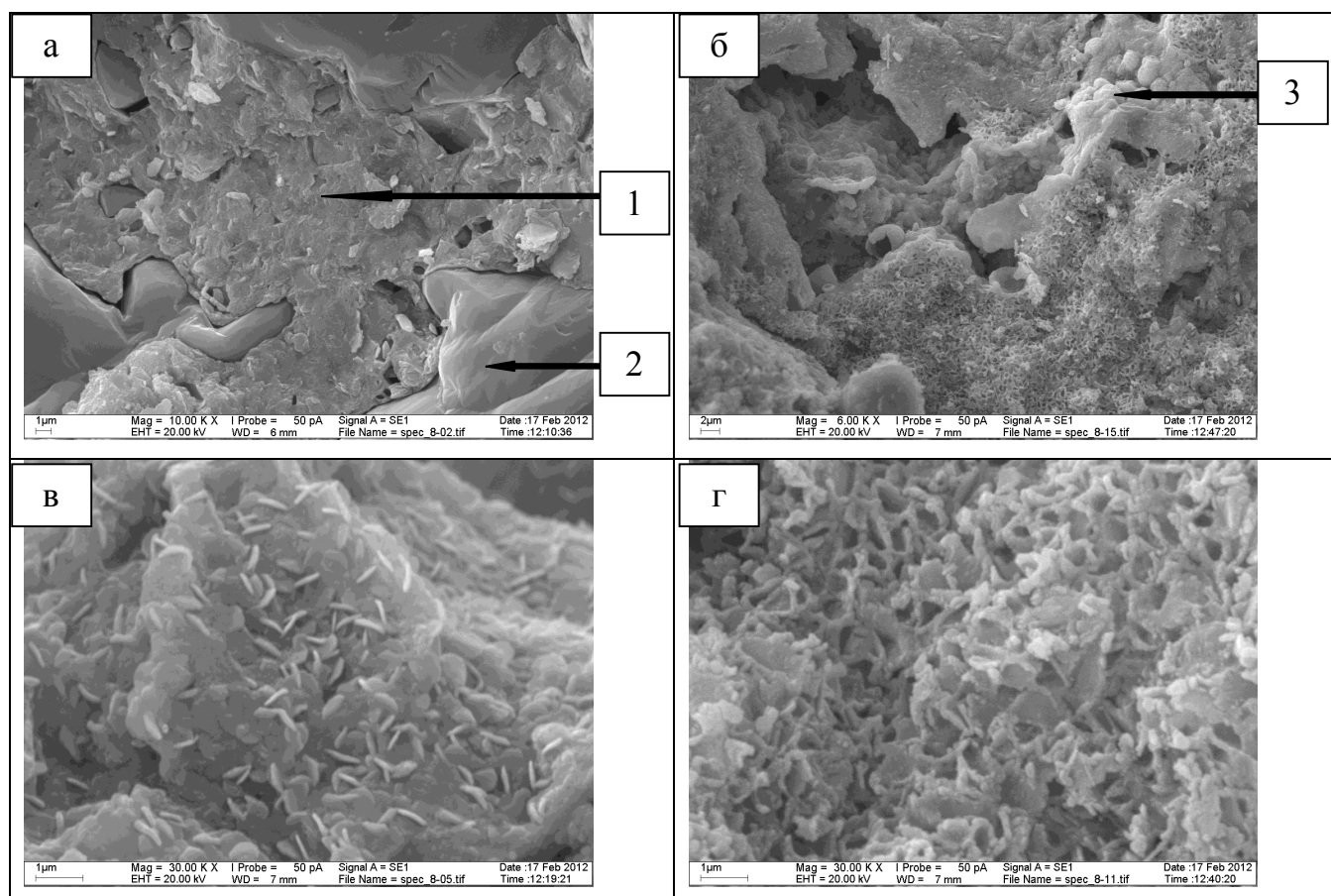


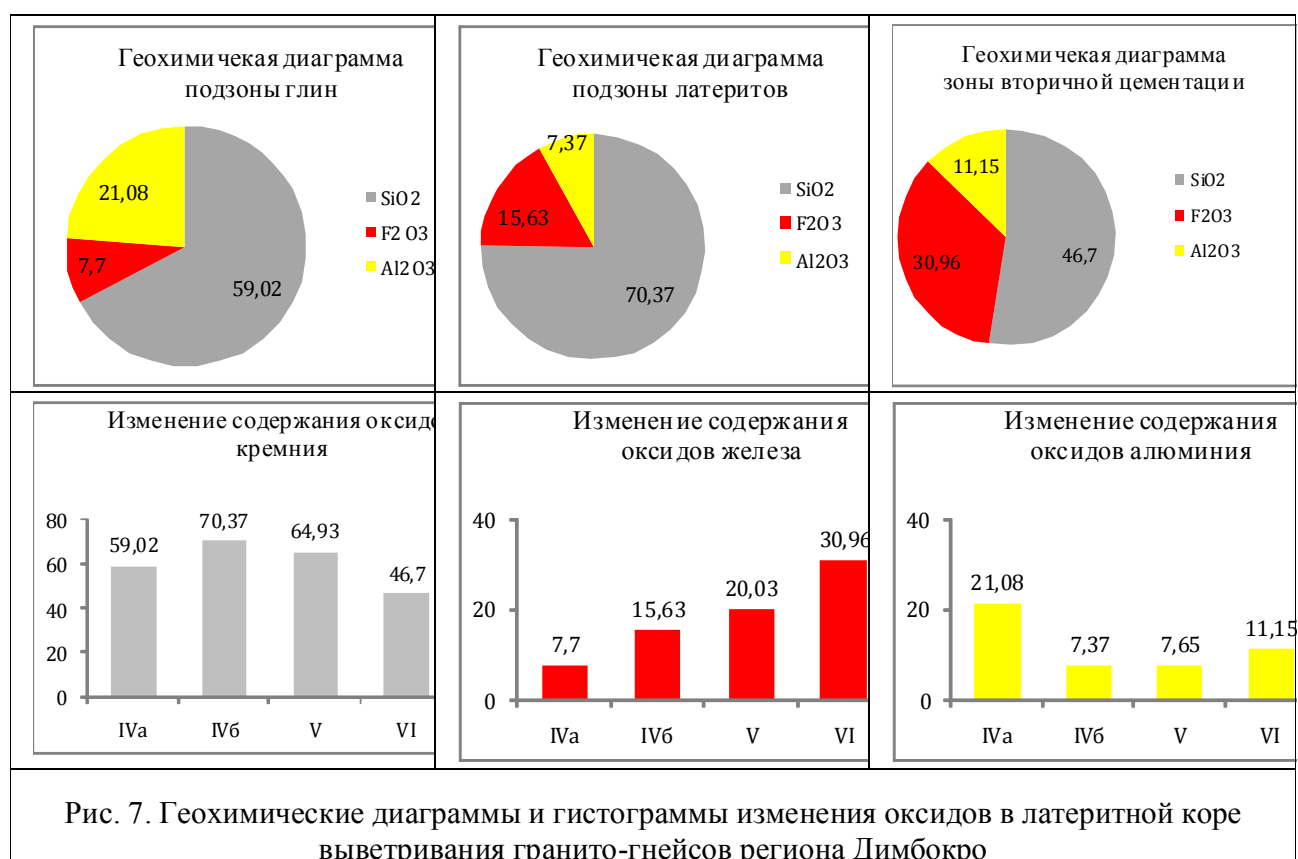
Рис. 6. Фрагменты микроструктуры грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов (Димбокро, Кот д'Ивуар) при разных увеличениях

Зона вторичной цементации: 1 – глинистый цемент, 2 – зерна кварца;
характер распределения оксидов железа зоны вторичной цементации:
3 – микроагрегат; в – тонкодисперсная масса; г – сетчатая структура

На рис. 7 демонстрируется характер изменения химического состава пород в коре выветривания гранито-гнейсов.

В подзоне глин преобладают алюмосиликаты (более 80 %), при содержании оксидов железа около 7 %.

В подзоне латеритов содержание оксидов железа увеличивается до 15 %, а в зоне вторичной цементации оно возрастет до 31 %. Вместе с тем содержание кремнезема в целом в коре выветривания остается достаточно высоким (за счет устойчивости кварца) и лишь в зоне вторичной цементации его содержание сокращается до 47 %.



В результате сравнительного анализа информации о корях выветривания Кот д'Ивуара, Гвинеи и Ганы было установлено сходство строения их разрезов.

Детальное изучение коры выветривания показало четкую закономерность изменения химического и минерального составов, связанную с миграционной подвижностью компонентов и обуславливающую формирование геохимической зональности.

Главные факторы, определяющие характерные черты процессов формирования структурных связей, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств латеритных кор выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского щита таковы.

Это устойчивость кварца и его сохранность во всех зонах коры выветривания, что сказывается, прежде всего, на гранулометрическом составе грунтов дисперсной зоны (грунты

подзоны латеритов фактически представлены легкими суглинками), в которой содержание кварца снижается по сравнению с субстратом, но остается достаточно высоким (до 20 %).

Вторым фактором является формирование каолинита (за счет псевдоморфного замещения полевых шпатов и плагиоклазов). Кристаллизационные структурные связи, характерные для гранито-гнейсов, в зоне литомаржа (сапролиты) замещаются коагуляционно-кристаллизационными и коагуляционными – в дисперсной зоне. Следствием этого является появление качественно новых свойств (пластичности, набухаемости, размокаемости), изменение характера деформации (пластический тип разрушения, его зависимость от влажности). Это свойства характерно для подзоны каолинитов.

Наиболее значимым фактором является накопление оксидов железа в верхней части коры выветривания. Оно происходит, с одной стороны, за счет вымывания подвижных компонентов инфильтрационными водами (количество атмосферных осадков – 1500 – 1800 мм в год), а с другой стороны - за счет миграции (в кислой среде). В сезон дождей миграция оксидов направлена вниз, а в сухой сезон при испарении влаги – вверх. Это приводит во-первых, к формированию различных железистых образований (на макро- и микроуровнях): цемента, гнезд, гранул, конкреций; во-вторых, пленок, рубашек своеобразных “панцирей” (отчетливо просматриваются на микроуровне), обволакивающих зерна кварца, глинистые частицы. Это является причиной снижения активности проявления сил молекулярно-ионно-электростатической природы, характерных для глин и появлению в них водно-коллоидных связей. Вследствие этого в зоне латеритов адсорбционная способность грунтов “нейтрализуется” – грунты становятся менее пластичными ($I_p = 8\%$).

Процесс переформирования гранито-гнейсов включает изменение характера структурных связей, разрушаются первичные, прочные кристаллизационные структурные связи и формируются вторичные. Специальные исследования грунтов на микроуровне позволили установить механизм переформирования минерального состава и структурно-текстурных особенностей латеритных кор выветривания, тесно связанный с вторичными минералообразованиями. Так в зоне литомаржа в процессе избирательного замещения первичных минералов субстрата гидрослюдами и каолинитами грунты приобретают смешанную коагуляционно-кристаллизационную структуру с унаследованными остаточными первичными связями минерального уровня. Это является причиной сохранения монолитности отдельных блоков выветрелых пород.

При дальнейшем замещении первичных минералов субстрата глинистыми, утрачиваются реликтовые структурные связи, и формируется водно-коллоидные. Последние, как отмечалось ранее, определяют появление новых качеств, свойственных глинистым грунтам - пластичность, набухаемость и др.

Интенсивная, судя по микроснимкам, ферролитизация пород обуславливает формирование цементационных связей (кираса). Макроструктура становится пузырчатой, червообразной, бобово-пизолитовой; на микроуровне фиксируется чрезвычайная неоднородность строения. Высокое содержание ферромагнетитов в тонкодисперсной среде обуславливает возникновение связей магнитного характера.

Можно предположить, что зона латеритов и кирасы наряду с молекулярно-ионно-электрическими возникают и магнитные связи, за счет ферромагнетитов (гетита, гидрогетита), покрывающих базальные поверхности глинистых частиц и кварца. Это приводит к образованию коагуляционной – вторично-кристаллизационно-цементационной структуры. Сильная ферралитизация пород (данные микроскопических анализов) обуславливает формирование цементационных связей, определяющих увеличение прочности грунтов в зоне латеритов и кирасы.

Процессы химического и физического выветривания тесно связаны между собой. Переформирование субстрата сопровождается развитием трещиноватости и пористости, и естественно снижением прочности грунта. Микротрещины возникают по внутри и межзерному пространству, по дефектам структуры, приобретая беспорядочную ориентировку, характерную для экзогенной трещиноватости. Появление пор (на микроуровне) связано с процессами разрушения слоистых минералов (полевых шпатов), корродирования зерен кварца, разложения железосодержащих минералов (биотит), замещения первичных минералов вторичными, сопровождающегося изменением объема вещества.

Следствием переформирования грунтов в процессе выветривания являются четко выраженные закономерности изменения физико-механических свойств: снижение плотности пород; возрастание пористости и трещиноватости; возникновение пластичности, обусловленное формированием глинистых минералов в зоне литомаржа; увеличение плотности минеральных частиц снизу вверх по мере обогащения грунтов железистыми соединениями (от 2,66 – 2,68 в дисперсной зоне до 3,18 - 3,2 – в зоне деструктуризации кирасы) (рис. 3 и табл. 1).

Таблица. 1
Средние значения параметров физико-механических свойств латеритных кор выветривания региона Дымбокро (Кот д'Ивуар)

Индекс	Зона выветривания гранито-гнейсов	Мощность, м	Модуль деформации, Е, МПа	Физические свойства													
				W, %	ρ _s , г/см ³	Консистенция, %				Гранулометрический состав, %							
						W _L	W _P	I _P	I _L	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,25-0,1	<0,1	
VI	Деструктурированные: латеритные гранулы	0,2-1,5	7,2-16,5	6,9	3,16	22	15	7	<0	3,0	13,3	13,3	9,5	15,2	17,7	10,6	17,4
V	Вторичной цементации: - кираса	0,5-2,5	9,8-64,7	4,1	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IVa IVb	Дисперсная: латериты - каолинит	0,8-2,5 1-3	20,5-12,1	5,7 21,9	2,88 2,69	23 59	15 30	8 29	<0 <0	2,2 -	7,7 -	12,1 0,8	8,3 2,8	12,8 8,4	10,3 11,2	9,7 8,1	36,9 68,7
III	Литомарж: -хрупкие светло-желтые породы	1,5-4	20,2-33,4	10,3	2,68	35	24	11	<0	-	-	-	-	-	-	-	-
II	Обломочная	1,5-5	8,3-63,2	-	2,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	Трещинная				2,66												
0	Невыветрелая				2,65												

Примечание. Прочерк – нет данных; W – природная влажность; ρ_s – плотность минеральных частиц; W_L – верхний предел пластичности; W_P – нижний предел пластичности; I_P – число пластичности; I_L – показатель текучести.

Глава 4. Методика инженерно-геологических исследований латеритных кор выветривания. В настоящей главе рассматриваются особенности методики изучения латеритных кор и процесса выветривания.

В условиях тропического климата выветривание протекает интенсивно и приводит к формированию коры латеритного типа, которая по строению профиля, составу и свойств слагающих их грунтов существенно отличается от кор, формирующихся в условиях умеренного климата. Поэтому в ходе инженерно-геологических исследований в районах распространения латеритных кор выветривания, рекомендуется применять комплекс специальных методов их изучения (рис. 8).

Задачи инженерно-геологических исследований предопределены характером деятельности Человека.

При *региональных инженерно-геологических исследованиях* эти задачи таковы: установление закономерностей распространения кор выветривания, их типов (площадные, линейные), строения, мощности, возраста; разработка региональной схемы расчленения коры выветривания; выявление свойств выветрелых пород в целом, с полнотой, достаточно обеспечивающей инженерно-геологическую оценку территории.

При *проектировании природно-технических систем* задачи становятся более конкретными: выявление закономерностей распространения выветрелых пород на выбранной территории, установление пространственной изменчивости их мощности: расчленение коры выветривания на зоны; оценка показателей состава и свойств грунтов в пределах выделенных зон; оценка эффективности мероприятий, направленных на предохранение пород от выветривания и пространственно-временной прогноз процесса выветривания грунтов в период строительства и эксплуатации сооружений.

Инженерно-геологические исследования латеритных кор выветривания включают комплекс методов, позволяющих корректно решать поставленные задачи. К числу этих методов относятся наземные наблюдения, геофизические исследования, горные и буровые работы, позонное опробование грунтов, определение их минерального и химического составов и физико-механических свойств лабораторными методами, камеральная обработка полученных результатов.

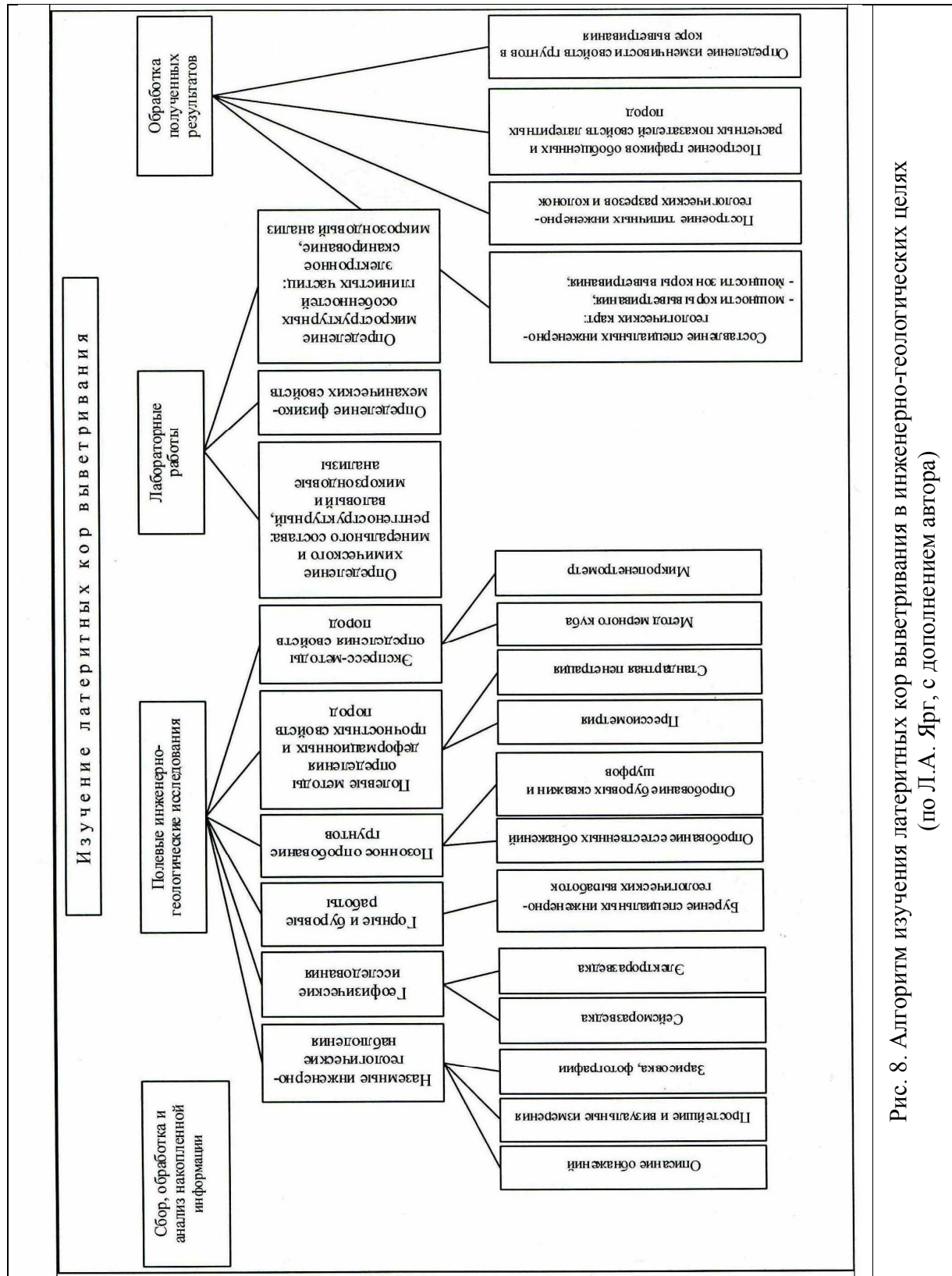


Рис. 8. Алгоритм изучения латеритных кор выветривания в инженерно-геологических целях
(по Л.А. Ярг, с дополнением автора)

Сбор и обработка накопленной информации. Информация должна содержать сведения: о пространственном распространении, глубине залегания, мощности, составе и свойствах латеритных кор выветривания в целом и отдельных зон; о материнских породах, их возрасте, минеральном составе, структурно-текстурных особенностях, условиях залегания, степени метаморфизма и трещиноватости; гидрогеологических условиях (мощности зоны аэрации, глубине залегания грунтовых вод, колебаниях их уровня, химическом составе); о ландшафтно-климатических условиях (количество атмосферных осадков, температура и влажность воздуха, тип ландшафта). Необходимо также собрать и обработать данные о характере рельефа, геоморфологических особенностях территории.

Наземные геологические наблюдения чрезвычайно информативны. В ходе наблюдений документируют: геоморфологический облик территории и ее морфологическую структуру (расчлененность), определяющие условия формирования, развитие и сохранность кор выветривания; условия залегания, состав и свойства, структурно-текстурные особенности выветрелых пород и субстрата; тектонические нарушения (сбросы, зоны дробления, сланцеватость, трещиноватость). Наблюдения сопровождаются зарисовками и фотографиями.

Полевые инженерно-геологические работы ведутся для расчленения коры выветривания на зоны, определения механических свойств пород, позонного опробования латеритных грунтов для лабораторных исследований, текстурно-структурных особенностей и состава грунтов.

В Кот д'Ивуаре при полевых исследованиях латеритных грунтов, в соответствии с французскими нормами, широко применяют стандартный пенетромтр SPTNF P 94-116, 1991 и прессиомтр MENARDNF94 110-1, 2000.

Изучение минерального и химического составов латеритных грунтов кор выветривания рекомендуется проводить на образцах, отобранных из каждой зоны комплексом методов, включающих валовый анализ, петрографический, рентгенометрический, рентгенофлуоресцентный, электронно-микроскопический и микрозондовый. Использование этих "тонких" методов позволит с высокой точностью изучить минеральный, химический состав и структурно-текстурные особенности грунтов зон кор выветривания. Пример электронного и микрозондового анализа грунтов зоны вторичной цементации приведен на рис. 9, который показывает структурные связи, геометрию порового пространства и степень ожелезнения микроучастков грунтов латеритных кор выветривания.

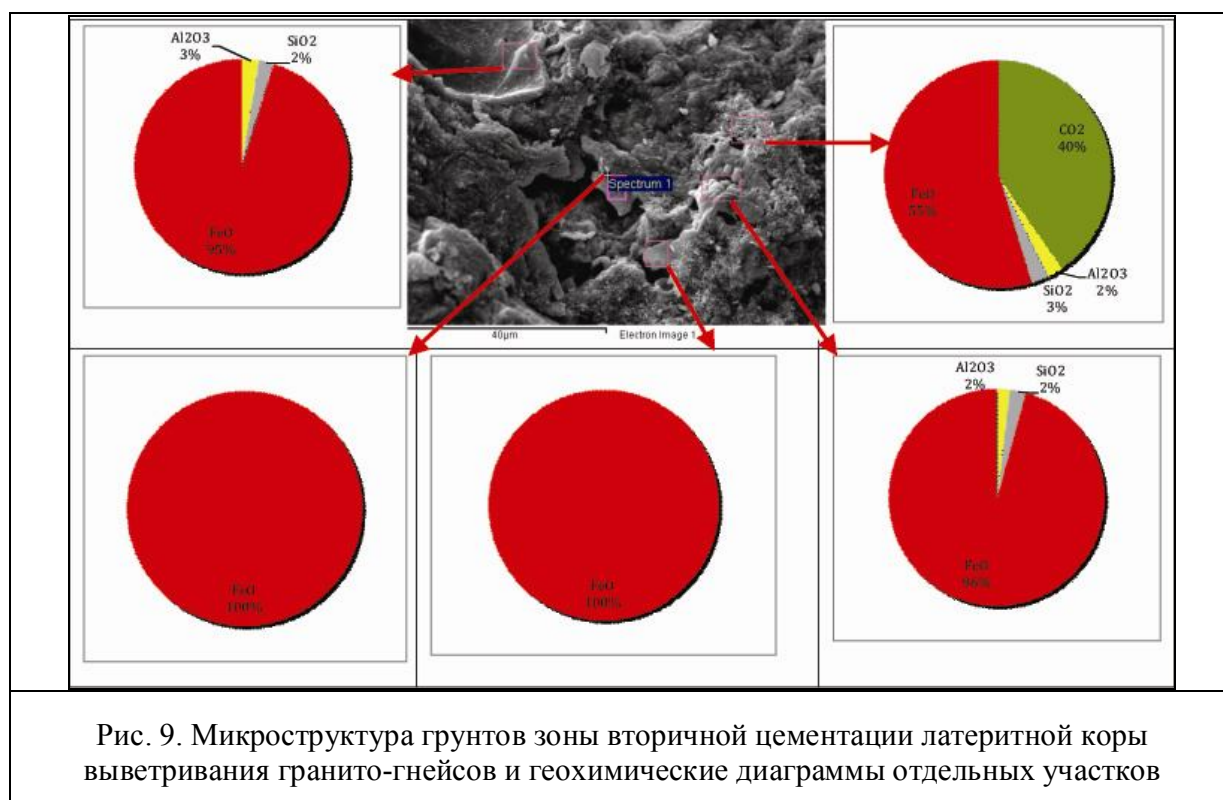


Рис. 9. Микроструктура грунтов зоны вторичной цементации латеритной коры выветривания гранито-гнейсов и геохимические диаграммы отдельных участков

Обработка полученных результатов заключается в анализе карт, графиков, диаграмм для получения представлений об основных этапах корообразования, возрасте кор выветривания и их пространственном размещении; зональности их строения; составе, структурно-текстурных особенностях и свойствах слагающих их породы. Анализ результатов региональных исследований предполагает использование специальных инженерно-геологических карт, в частности карт TWK кор выветривания. В ходе обработки результатов исследований составляют специальные инженерно-геологические карты распространения, мощностей, колонок латеритных кор выветривания; графики обобщенных показателей свойств, изменения состава пород.

1. Комплекс методов инженерно-геологических исследований латеритных кор выветривания характеризует ряд специфических черт, обусловленных зональностью коры выветривания, сложенной грунтами с различными минеральным и гранулометрическим составами и физико-механическими свойствами.

2. Наборы методов включают, как методы полевых исследований, так и “тонкие” весьма сложные методы лабораторных испытаний (рентгенометрический, микронзондовый, рентгено-флуоресцентный, электронное микросканирование).

3. Методика включает способы изучения процесса выветривания, его скорость и интенсивность путем режимных наблюдений и моделирования.

4. Обработка и анализ информации о латеритных корях выветривания предполагает составление специальных инженерно-геологических карт: карт TWK кор выветривания и карт мощности кор выветривания.

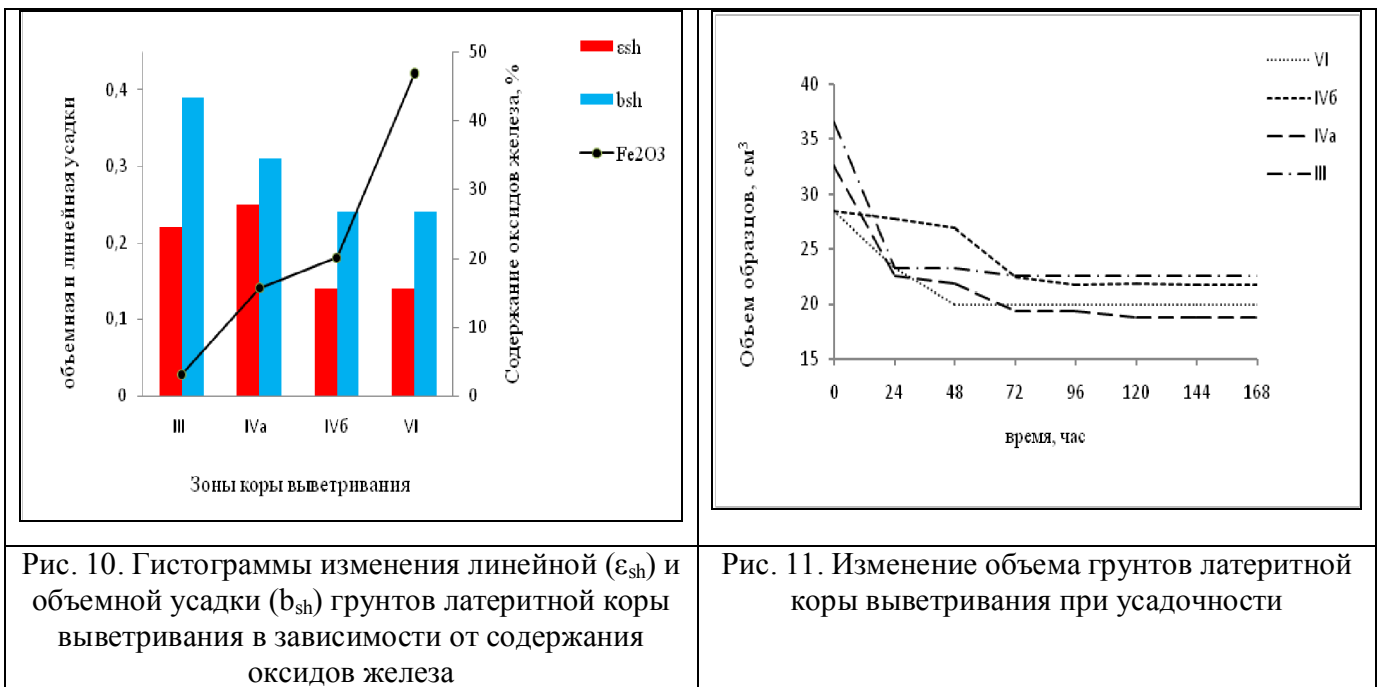
Глава 5. Использование латеритных грунтов в качестве материала для дорожного строительства. Глава содержит результаты оценки водно-физических свойств латеритных грунтов, полученных путем моделирования процессов усадочности, набухания и размокания.

В Западной Африке латеритные грунты служат не только основанием для фундаментов сооружений, но и используются как строительный материал. В дорожном строительстве латеритные грунты составляют основную часть тела насыпи, являются ее основанием, слагают откосы дорожных выемок. Их использование экономически выгодно, поскольку они широко распространены на территории страны и при этом обладают достаточно высокими прочностными свойствами.

Для решения вопроса о возможности использования латеритных грунтов для дорожного покрытия автором осуществлено лабораторное моделирование взаимодействий в природно-технической системе ПТС “Дорога”. Эксперименты проводились на пастах, приготовленных из природных грунтов различных зон литомаржа, латеритов, кирасы и деструктуризации. Алгоритм моделирования поведения грунтов в дорожном покрытии соответствовал температурно-влажностному режиму экваториальной зоны: сухой сезон – усыхание, сезон дождей – набухание, размокание.

Стабильное состояние латеритов в дорожных покрытиях предопределяется их водно-физическими свойствами. Поэтому задача моделирования состояла в исследовании поведения латеритных грунтов нарушенной структуры при взаимодействии с атмосферными осадками. В сезон дождей – размокание, набухание; усадочность – в сухие сезоны.

Испытания усадочности грунтов показали, что она контролируется высоким содержанием оксидов железа, создающими цементационные структурные связи (рис. 10). Ее малые значения характерны для всех грунтов; она быстро затухает (рис. 11), что возможно объяснить высокой объемной теплоемкостью и теплопроводностью грунтов содержащих железо.



Моделирование поведения грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов при взаимодействии с водой (атмосферные осадки) в ПТС “Дорога” показало: латеритные грунты (зоны латеритных гранул, вторичной цементации и подзоны латеритов), как материал в дорожном строительстве следует считать ненабухающими; грунты зоны латеритных гранул и вторичной цементации являются неразмокающими; грунты подзоны латерита – быстроразмокающими.

Исходя из результатов исследований водно-физических свойств латеритных грунтов гранито-гнейсов можно делать вывод о том, что грунты VI (деструктуризации) и V (вторичной цементации) зон могут быть рекомендованы как материал для дорожного строительства. Но учитывая высокое содержание в них оксидов железа и высокий температурный режим экваториальной Африки, можно ожидать, что температура дорожного покрытия в сухом сезоне достигнет $50 - 70^{\circ}\text{C}$. Вследствие этого в дорожных конструкциях рекомендуем использование теплоизоляционных материалов.

Заключение

1. Латеритная кора выветривания гранито-гнейсов Кот д’Ивуара с учетом химического, минерального, гранулометрического составов, структурно-текстурных особенностей в инженерно-геологических целях может быть разделена на шесть зон: VI – зона деструктуризации, V – зона вторичной цементации, IV – дисперсная зона, III – литомарж, II – обломочная зона, I – трещинная зона.

2. Латеритная кора выветривания характеризуется геохимической зональностью. Для коры выветривания гранито-гнейсов Кот д'Ивуара установлено наличие в субстрате кварца, полевых шпатов, роговой обманки; в сапролите – кварца, полевых шпатов; в глине – кварца, каолинита; в латерите – гетита и кварца с примесью каолинита; в кирасе – кварца и гетита.

3. Изменения химического и минерального составов обуславливают преобразования структурных связей и структурно-текстурных особенностей грунтов: кристаллизационные структурные связи субстрата сменяются в литомарже и дисперсной зоне (сапролиты и латериты) – водноколлоидными, а в зоне вторичной цементации (кираса) цементационными, за счет разнообразных форм железа (пленок, натеков, рубашек, желваков, гроздевидных образований), содержание которого увеличивается в латеритах и кирасе до (73 – 95 %).

Грунты, слагающие зоны латеритной коры выветривания, обладают существенными различиями в химическом, минеральном и гранулометрическом составах. Это определяет пространственную изменчивость физико-механических свойств грунтов латеритных кор выветривания. Комплексные методы исследования грунтов латеритных кор выветривания гранито-гнейсов Кот д'Ивуара позволили установить следующие закономерности их изменчивости по вертикали: увеличение содержания железа и алюминия; увеличение плотности минеральных частиц снизу вверх (от 2,68 до 3,18 г/см³) по мере увеличения содержания железистых соединений; возникновение свойства пластичности грунтов в зонах литомаржа и дисперсной за счет формирования глинистых минералов. Число пластичности в зоне литомаржа равно 11, а в дисперсной зоне до 29%.

4. Единство характера закономерностей изменчивости состава и свойств грунтов подтверждено в ходе анализа данных о структурах и свойствах латеритной коры выветривания Леоно-Либерийского щита в Гвинеи и Гане.

5. Существует широкий диапазон грунтов, слагающих различные зоны латеритных кор выветривания: скальные, полускальные, обломочные (литомарж), дисперсные (глины и латериты), кираса. Это требует при их изучении применения обширного комплекса разнообразных методов. Набор методов изучения латеритных кор выветривания, по опыту исследований Леоно-Либерийского щита, должен включать также петрографические, рентгеноструктурные, рентгенофлуоресцентные, микрозондовые, электронно-микроскопические исследования. Использование этих “тонких” методов необходимо для определения минерального состава дисперсной зоны латеритной коры выветривания

(нонtronит, каолинит, монтмориллонит, гидрослюда), предопределяющих водно-физические свойства грунтов этой зоны.

Значительные величины потерь при прокаливании (10,3 %) и мокрого сжигания (3 – 5%) свидетельствуют о том, что грунты латеритной коры выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского щита содержат значительное количество органики.

6. Возможность использования латеритных грунтов в качестве материала дорожного покрытия определяется характером их поведения при взаимодействии с водой (атмосферные осадки). Моделирование этого взаимодействия (ПТС “Дорога”) показало, что латеритные грунты, слагающих V и VI зоны являются не набухающими и не размокающими и могут быть рекомендованы в качестве строительного материала. При этом, естественно, следует считаться с температурным режимом грунтов и необходимостью, использование в дорожных конструкциях теплоизоляционных материалов.

7. Выявленные закономерности изменчивости грунтов латеритной коры выветривания гранито-гнейсов Леоно-Либерийского щита по всей вероятности будут, характерны и для других древних кристаллических гранито-гнейсовых массивов экваториальных зон Африки, Азии и южной Америки.

Основные публикации по теме диссертации

1. Конне А.М. латеритные коры выветривания Кот д’Ивуара. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ, М. : 2010. с 160.
2. Конне А.М. Латеритные коры выветривания Леоно-Либерийского массива. Происхождение, состав и свойства. Международная научная конференция «Новые идеи в науках о Земле». РГГРУ, М. : 2011. с 57.
3. Конне А.М. Латеритные коры выветривания региона Димбокро (Кот д’Ивуар). Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ, М. : 2012. 160с
4. Конне А.М. Строение, состав и свойства латеритные коры выветривания региона Димбокро (Кот д’Ивуар).// Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. №1. с. 49 – 55.