

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ЛАТЫПОВ АЙРАТ ИСЛАМГАЛИЕВИЧ

**СТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ТОЛЩ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ**

Специальность 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Научный консультант:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор

Вознесенский Евгений Арнольдович

г. Казань, 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ	16
1.1. История изучения и основные установленные закономерности распространения и формирования физико-механических свойств элювиальных грунтов	16
1.2. История изучения элювиальных грунтов на территории Восточного Закамья	31
Выводы по первой главе.....	39
ГЛАВА 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ	42
2.1. Геоморфологическое строение территории	42
2.2. Геологическое строение территории	54
2.3. Гидрогеологические условия.....	62
2.4. Тектоника и неотектоника	68
2.5. Инженерно-геологические процессы.....	71
2.6. Инженерно-геологическое районирование	76
Выводы по второй главе.....	88
ГЛАВА 3. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ	89
3.1. Факторы формирования и пространственное распространение терригенных элювиальных грунтов.....	89
3.2. Строение профиля кор выветривания по песчаникам	99
3.3. Строение профиля кор выветривания по глинам	110
3.4. Минеральный и химический состав.....	116
3.5. Инженерно-геологические свойства и классификация песчаников	121
3.6. Инженерно-геологические свойства глин	139
Выводы по третьей главе	145
ГЛАВА 4. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ	146
4.1. Пространственное распространение и факторы формирования карбонатных элювиальных грунтов.....	146
4.2. Строение профиля кор выветривания.....	157

4.3. Минеральный и химический состав карбонатных элювиальных грунтов	165
4.4. Инженерно-геологические свойства и классификация карбонатных элювиальных грунтов	170
Выводы по четвертой главе	177
ГЛАВА 5. ХАРАКТЕРИСТИКА СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ	178
5.1. Оценка изученности и общая оценка карстово-суффозионной опасности	178
5.2. Количественная оценка суффозионности грунтов бесструктурного карбонатного элювия	188
5.3. Количественная оценка суффозионности терригенного элювия	196
5.4. Оценка трещиноватости зоны структурного карбонатного элювия	200
5.5. Результаты экспериментальных исследований развития процесса суффозии в карбонатных элювиальных грунтах	204
5.6. Интегральная оценка суффозионной опасности	214
Выводы по пятой главе	226
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	227
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	231
Приложение	255

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Территория Восточного Закамья расположена в юго-восточной части Республики Татарстан южнее реки Кама и восточнее реки Шешмы (рисунок 1.0) и представляет собой ключевой регион с высокой антропогенной активностью. На этой территории располагаются такие крупные города как Альметьевск, Нижнекамск, Бугульма, Заинск, Бавлы, Мензелинск, разрабатываются крупнейшие месторождения нефти, такие как Ромашкинское, Ново-Елховское, Шугуровское, строятся и эксплуатируются крупные промышленные заводы и объекты химической, нефтяной и сельскохозяйственной промышленности.

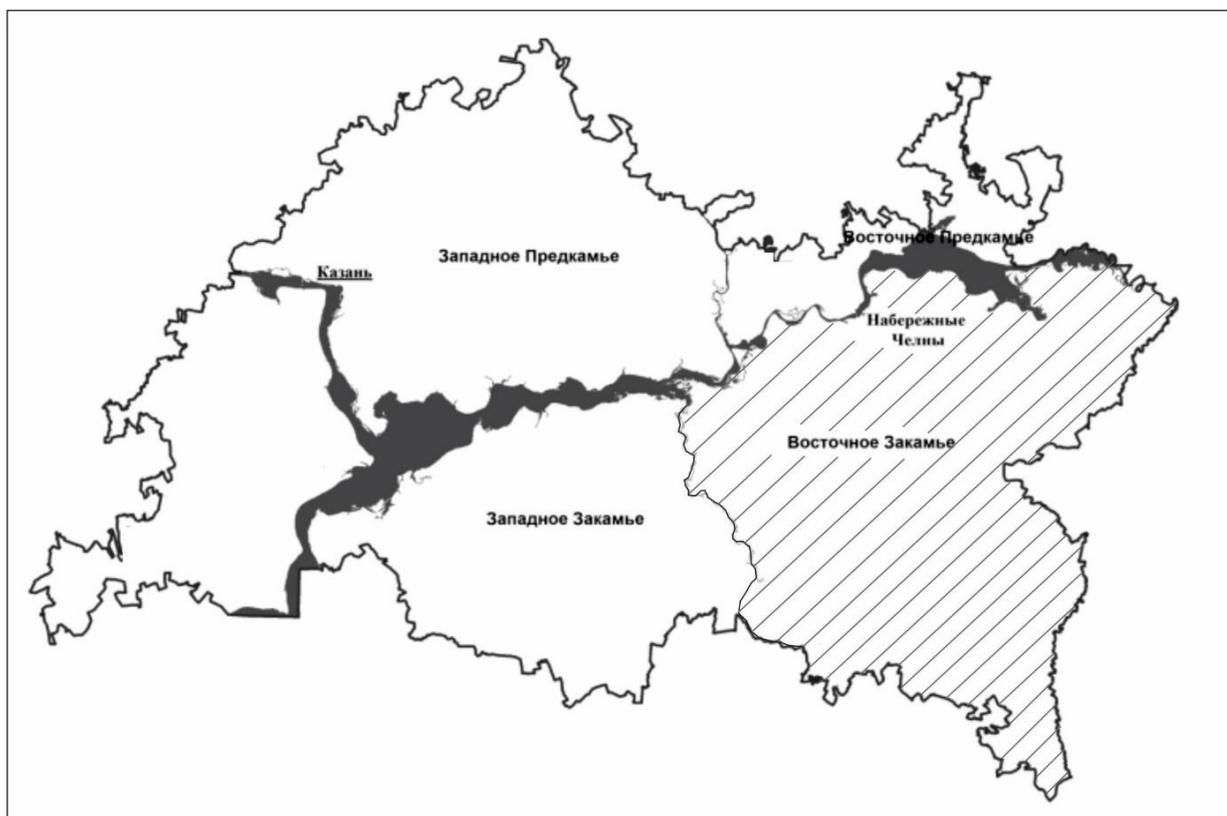


Рисунок 1.0. Расположение Восточно-Закамского региона в границах Татарстана

В административном отношении территория полностью или частично включает Тукаевский, Мензелинский, Актанышский, Заинский, Сармановский, Муслимовский, Альметьевский, Азнакаевский, Лениногорский, Бугульминский, Бавлинский, Ютазинский районы Республики Татарстан (РТ).

Территория с общей площадью 22,5 тысячи км² на севере ограничена рекой Камой, на востоке частично рекой Ик и административной границей РТ, на юге – административной границей РТ, на западе рекой Шешма. По физико-географическому районированию исследуемая территория находится в пределах Восточно-Закамского природно-географического района.

Необходимо отметить, что, несмотря на высокую антропогенную активность, территория Восточного Закамья остается малоизученной с точки зрения системных инженерно-геологических исследований, особенно по сравнению с восточной и центральной частями Республики Татарстан. При этом большая часть территории характеризуется сложной категорией инженерно-геологических условий, что обусловлено, в первую очередь, широким распространением элювиальных грунтов и развитием связанных с ними карстово-суффозионных процессов.

В настоящей работе элювиальные грунты рассматриваются как часть такой геологической формации, как кора выветривания, образовавшаяся в зоне гипергенеза в результате выветривания исходных горных пород и слагающих их минералов.

Изучение элювиальных грунтов на исследуемой территории, как и во многих других регионах, часто ограничивается поверхностным описанием в общем контексте геологических условий. Исследования инженерно-геологических свойств элювиальных грунтов проводятся в основном частными инженерно-геологическими организациями в ходе выполнения изысканий и носят весьма локальный и поверхностный характер [83].

Элювиальные грунты Восточного Закамья являются продуктом выветривания коренных осадочных пород казанского и уржумского ярусов пермской системы и не представлены ни на каких картах и не выделены в стратиграфической шкале кайнозойской группы региона. Это создает серьезные трудности, так как часто бывает крайне затруднительно отличить элювиальный грунт от невыветрелой материнской породы как в процессе проведения полевых работ, так и при лабораторном изучении [83].

Для элювиальных грунтов характерна быстрая изменчивость их физико-механических свойств в плане и по глубине, часто невыдержанная и поэтому трудно прогнозируемая. Кроме того, сложность представляет отбор образцов таких грунтов, а отсутствие корреляционных зависимостей между данными полевых и лабораторных исследований, отсутствие единой методики выделения инженерно-геологических элементов в соответствии со степенью выветрелости исходных пород приводят к значительному усложнению проведения инженерно-геологических исследований, увеличению сроков и стоимости проектирования и строительства.

Дополнительная актуальность исследования связана с современными тенденциями существенного ускорения (кратного по сравнению с текущим состоянием) темпов строительства, проектирования и изысканий [83]. В отечественной инженерной геологии одним из путей решения такой задачи всегда являлось создание различного рода инженерно-геологических карт, корреляционных зависимостей и региональных таблиц, позволяющим избежать в условиях дефицита времени на изыскания принятия серьезных ошибочных решений.

На большей части исследуемой территории активно развиваются такие экзогенные процессы, как карст и суффозия, обусловленные растворимостью карбонатных пород и выносом частиц грунта подземными водами и напрямую связанные с наличием элювиальных грунтов как карбонатного, так и терригенного типа. Полевые маршрутные наблюдения на исследуемой территории показали, что карстово-суффозионные формы встречаются на 36% всей площади Восточного Закамья. Поэтому значительная часть выполненной работы посвящена исследованию карстово-суффозионной опасности.

Степень изученности проблемы

Активное развитие исследований элювиальных грунтов начало происходить с период с 1950 по 1980 годы, что было связано с рядом фундаментальных исследований Е.М. Сергеева (1952); Коломенский, 1952; К.И. Лукашева (1956), Г.А. Голодковской (1968), В.Д. Ломтадзе (1970), Г.К.

Бондарика (1971), Л.А. Ярг (1974), Е.Г. Чаповского (1975), В.Т. Трофимова (1977) и др. Основным выдвигаемым тезисом являлось то, что структура и состав элювиальных грунтов, а также их свойства, тесно связаны с геологическим строением территории. При этом толщи кор выветривания разделялись на зоны с помощью различных схем, учитывающих множество факторов [83].

Дальнейшие исследования Н.Н. Маслова (1982), Г.С. Золотарева (1971), В.Б. Швеца (1993), В.Н. Широкова (1989) имели значительное значение в изучении физико-механических свойств элювиальных грунтов, а активное развитие методов математической статистики в этот период помогло выявить основные закономерности изменчивости свойств и состава грунтов для различных территорий [84].

Современные отечественные исследования связаны с решением прикладных инженерно-геологических задач, связанных с рациональным освоением некоторых ограниченных территорий, например работы А.А. Сафроновой (1998), Э.Р. Черняка (2011), А.М. Коня (2012), А.Г. Барановского (2015), А.Н. Галкина (2016), Д.М. Шестернева (2017), Р.К. Илаловой и Ю.Л. Гульбина (2017), С.А. Александрова и О.М. Гуман (2019) [84].

Зарубежные исследования кор выветривания начали активно развиваться начиная с 50-х годов XX века. Основное внимание уделялось поиску закономерностей в характеристиках выветривания в различных зонах и регионах, например, работы A.L. Little (1969), P.G. Fookes (1975), F. Derakhshan-Babaei, K. Nosrati и др., N. Meyer, M. Kuhwald и др. (2020) [84].

Описание строения элювиальных грунтов на территории Республики Татарстан обычно приводится поверхностно в общем описании геологических условий, часто без детализации инженерно-геологических характеристик данных грунтов. Основные исследования связаны с работами А.Н. Мазаровича (1935), Е.И. Тихвинской (1939), А.П. Дедкова, (1968), Е.В. Милановской (1935), Г.Ф. Мирчинка (1932), Н.И. Николаева (1935), Е.Н. Пермякова (1935), М.С. Кавеева, Ф.С. Хабибуллиной (1965), В.А. Полянина (1957), О.Н. Малышевой, А.П. Дедкова (1970), Г.П. Бутакова (2003), А.В. Кожевникова (1959) и др.

Важный вклад в изучение кор выветривания внесли M.D.A. Thomas (1974), C.D. Ollier (1969), P. Migoń (2004). Авторы изучали закономерности развития кор выветривания в различных климатических и геологических условиях, а также влияние литологии материнских пород на характеристики продуктов выветривания.

Значительное внимание уделено пространственному распространению кор выветривания и построению специальных карт. В этой области работали R.A. Eggleton (2001), S.M. Hill (2000) и другие. Применение ГИС-технологий позволило детально картировать распространение различных типов кор выветривания.

Ряд работ посвящен изучению инженерно-геологических свойств продуктов выветривания и их классификации с целью оценки пригодности пород в качестве грунтовых оснований. Среди таких исследований можно отметить W.R. Dearman (1978), P.G. Fookes (1997).

В последние годы активно изучается влияние изменений климата и антропогенных факторов на скорость выветривания горных пород и эволюцию кор выветривания. Этим вопросам посвящены работы J.L. Dixon (2009), A. Dosseto (2008).

Таким образом, тема кор выветривания продолжает активно разрабатываться зарубежными специалистами, при этом особое внимание уделяется региональным исследованиям и прикладным аспектам инженерной геологии и геоэкологии. Эти направления представляются важными для дальнейшего изучения кор выветривания, в том числе в России.

Цель работы: инженерно-геологическая характеристика покровных элювиальных отложений на территории Восточного Закамья с установлением особенностей их состава, распространения, строения профиля выветривания, закономерностей изменения физико-механических свойств, а также анализом развития связанных с ними экзогенных процессов.

Задачи исследования:

- анализ и систематизация существующих знаний об элювиальных грунтах, истории их исследования, закономерностей распространения и физико-механических свойств грунтов различных зон коры выветривания;
- выявление особенностей распространения карбонатно-терригенных элювиальных грунтов, выделение структурных горизонтов кор выветривания в пределах исследуемой территории;
- инженерно-геологическое районирование территории с учетом распространения элювиальных грунтов;
- изучение изменчивости минерального и химического состава, физико-механических свойств элювиальных карбонатно-терригенных грунтов по профилю выветривания;
- лабораторные и полевые исследования образцов грунтов и грунтовых массивов различных участков;
- разработка региональных таблиц нормативных значений физико-механических характеристик грунтов;
- выполнение пространственного анализа распространения элювиальных грунтов с использованием ГИС технологий и последующим построением тематических карт;
- оценка суффозионной опасности с учетом совокупного влияния наиболее существенных факторов.

Фактический материал

В процессе полевых работ автором было проведено полевое описание 1106 точек обследования на данной территории, пробурены 232 инженерно-геологические скважины и выполнено 180 точек статического зондирования, а также лабораторно исследованы несколько сотен образцов грунтов. При выполнении анализа физико-механических свойств элювиальных грунтов, построении корреляционных зависимостей и региональных таблиц были дополнительно использованы фондовые материалы инженерно-геологических

изысканий [82], выполненных на исследуемой территории различными организациями за период с 1973 по 2023 г.

В качестве **объекта исследований** были выбраны карбонатные и терригенные грунты зоны гипергенеза территории Восточного Закамья.

Методология и методы исследования

Исследование основано на обширном фактическом материале, собранном в процессе полевых маршрутных наблюдений и лабораторных испытаний элювиальных грунтов территории Восточного Закамья [83].

Физико-механические характеристики грунтов изучались в лаборатории механики грунтов кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета согласно требованиям СП 47.13330.2016, СП 22.13330.2016 и соответствующим ГОСТ, таким как ГОСТ 25100–2020, 5180–2015, 30416–2020, 12248. *–2020, 12536–2014 [83].

Определение деформационных и прочностных свойств грунтов было проведено с использованием серийно выпускаемых приборов компании «НПП Геотек». Для выполнения фильтрационно-суффозионных испытаний использовалась установка собственной разработки автора, имеющая патент № 2022110200 от 15.04.2022 МПК-2022.01 G01N 3/10. При этом применялись методики, соответствующие ГОСТ 25584–2016 для определения коэффициента фильтрации грунтов, и методики определения фильтрационно-суффозионных свойств скальных оснований гидротехнических сооружений ВНИИГ.

Минеральный состав элювиальных глин определялся методом рентгенографических исследований на дифрактометре D2 Phaser (Bruker).

Микроструктурные характеристики были изучены на электронном микроскопе FEI XL-30ESEM. Исследования элементного состава проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker), который позволяет определять элементный состав твердых, порошкообразных и жидких образцов в диапазоне от В до U в вакууме или атмосфере гелия [83].

Исследования элементного состава проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker), который позволяет определять элементный состав твердых, порошкообразных и жидких образцов в диапазоне от В до U в вакууме или атмосфере гелия [23].

Картографические модели были построены с использованием программного продукта "ArcGIS 10.8". При построении карт суффозионной опасности при определении весов каждого фактора был использован метод соотношения частотностей (frequency ratio, FR).

Обработка результатов экспериментальных исследований и статистическая обработка данных была проведена с применением программы "Microsoft Excel".

Использование вышеобозначенных методов и инструментов исследования позволило получить всесторонние, статистически достоверные и надежные данные, послужившие основой для написания выводов диссертационной работы.

Научная новизна исследований заключается в следующих аспектах:

- впервые выполнена инженерно-геологическая оценка толщ элювиальных грунтов на территории Восточного Закамья, включающая характеристику их видов, мощности и областей распространения;
- впервые выполнено детальное описание строения, мощности, минерального состава и физико-механических свойств грунтов выделенных автором зон структурного и бесструктурного элювия по карбонатным и терригенным породам;
- сформулированы основные закономерности формирования состава, строения и свойств элювиальных грунтов региона в процессе их эволюции в четвертичное время;
- сформулированы количественные диагностические критерии выделения зон выветривания для терригенных элювиальных грунтов;
- впервые для оценки существующей и ожидаемой суффозионной опасности грунтов исследованной территории предложено новое прогнозное

решение, основанное на сочетании для каждого участка неоднородности гранулометрического состава верхнего горизонта бесструктурного элювия и степени трещиноватости подстилающих пород зоны структурного элювия.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

а) в существенном расширении представлений о генезисе, распространении и инженерно-геологических характеристиках элювиальных грунтов на территории Восточного Закамья;

б) в выявлении взаимосвязей между минеральным, химическим составом, строением профилей выветривания и физико-механическими свойствами терригенных и карбонатных элювиальных грунтов Восточного Закамья,

в) в разработке региональных таблиц механических характеристик терригенных элювиальных грунтов, что имеет значимое практическое применение при проведении изысканий и проектировании инженерных объектов;

г) в предложенном подходе к идентификации элювиальных песчаников с помощью метода статического зондирования;

д) в создании карт инженерно-геологического районирования, мощностей элювия по терригенным и карбонатным породам, карты суффозионной опасности для исследуемой территории, которые могут быть использованы для планирования инженерных изысканий при градостроительном проектировании;

е) в разработке и внедрении установки для определения суффозионной устойчивости и деформационных свойств грунтов (патент № 2022110200), позволяющей повысить точность и достоверность результатов исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. В пределах Восточного Закамья обособляются территории, различающиеся по проявлениям гипергенных процессов преобразования осадочных пород среднепермского возраста и закономерностям строения элювия. В центральной части, на верхнем плато, распространен

преимущественно элювий по карбонатным породам, в пределах среднего плато – карбонатно-терригенный тип элювиальных грунтов, а на нижнем плато – элювий по терригенным породам, что обусловлено преобладающими литотипами осадочных пород, а также принадлежностью к эрозионно-денудационным водораздельным и приводораздельным структурам.

2. Инженерно-геологическая характеристика массивов терригенных элювиальных грунтов может быть выполнена только с выделением зон гипергенных преобразований с контрастными отличиями классификационной принадлежности, свойств, минерального и химического состава: четырех для песчаных грунтов – зоны элювиальных песков, зоны элювированных песчаников, зоны химической дезинтеграции песчаников, зоны сохранного массива; и трех для глинистых грунтов – зоны элювиальных глин, зоны элювированных глин, зоны сохранного массива.

3. На территории Восточного Закамья элювиальные карбонатные грунты распространены преимущественно в пределах верхнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности, а в их разрезе отчетливо обособляются горизонты структурного и бесструктурного элювия, различающихся различной степенью преобразованности материнских пород, механическим и минеральным составом, а также структурно-текстурными признаками. Выделение этих горизонтов должно лежать в основе оценки физико-механических свойств и суффозионной устойчивости карбонатных элювиальных грунтов.

4. Оценка существующей и ожидаемой суффозионной опасности на территории Восточного Закамья в карбонатных и терригенных элювиальных грунтах может быть выполнена на основании количественного прогнозирования, основанного на сочетании для каждого участка неоднородности гранулометрического состава верхнего горизонта

бесструктурного элювия и степени трещиноватости подстилающих пород зоны структурного элювия.

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов обеспечиваются применением современных лабораторных методов исследования, приборов и устройств для испытаний и исследований грунтов, значительным объемом фактического материала, а также верификацией прогнозных построений прямыми наземными наблюдениями. Полученные зависимости основаны на использовании современных математических методов статистической обработки данных по каждому виду исследований, анализу сходимости результатов с общепринятыми положениями механики деформирования и разрушения грунтов и грунтовых массивов. Выводы, полученные в результате исследования, не противоречат друг другу и согласуются с современными представлениями в области инженерной геологии.

Личный вклад автора в работу

Автор принимал непосредственное участие в сборе, обработке и анализе данных об элювиальных грунтах на территории Восточного Закамья, провел комплексное изучение минерального состава, строения и физико-механических свойств элювиальных грунтов с последующим выделением структурных горизонтов и зон кор выветривания. На основании полученных данных при руководстве автора была построена серия тематических инженерно-геологических карт и интегральная карта районирования территории по степени карстово-суффозионной опасности. Сконструировал новое испытательное устройство и провел исследования в области моделирования развития суффозионных процессов с учетом коэффициентов неоднородности бесструктурного элювия и трещиноватости структурного. Лично провел обобщение представленных в диссертации инженерно-геологических материалов.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 92 рисунка, 35 таблиц, 1 приложение. Общий

объем работы составляет 256 страниц, список литературы состоит из 217 наименований.

Апробация результатов

Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях в городах: Дербент (2024), Москва (2024, 2022, 2021, 2018), Пермь (2024), Белград (2024), Минск (2023), Санкт-Петербург (2022, 2019), Уфа (2022), Барнаул (2021), Саратов (2021), Оттава (2016), Томск (2015). Публикаций по теме диссертации – 29, из них 10 в журналах из перечня ВАК, 7 работ в изданиях, индексируемых в базе Scopus. Получен 1 патент.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному консультанту доктору геолого-минералогических наук, профессору Вознесенскому Е.А. и доценту, кандидату геолого-минералогических наук Королеву Э.А. за содержательные консультации и советы, признательность кандидату геолого-минералогических наук доценту Гараевой А.Н. за всестороннюю помощь и поддержку. Автор признателен за помощь инженерам Г.М. Ескиной, О.Ю. Андрушкевичу.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

1.1. История изучения и основные установленные закономерности распространения и формирования физико-механических свойств элювиальных грунтов

Изучение элювиальных грунтов и их физико-механических свойств имеет долгую историю, тесно связанную с развитием наук о грунтах, геологии и геотехники.

Первые попытки систематизировать знания о грунтах, включая продукты выветривания, относятся к античности. Однако, выделение элювия как особого генетического типа грунтов произошло значительно позже.

Уже в XIX веке в работах В.В. Докучаева и его последователей (Н.М. Сибирцев, К.Д. Глинка) были заложены основы генетического грунтоведения и почвообразования. Именно в этот период формируется представление об элювиальных процессах как о важнейшем факторе образования выветрелых грунтов.

Первая половина XX века характеризуется активным развитием учения о факторах образования элювиальных грунтов. Изучаются процессы выветривания и переноса веществ в грунтовом профиле. Значительный вклад вносят Б.Б. Польшов, И.П. Герасимов и другие [127].

Началом фундаментальных исследований элювия можно считать период начала второй половины XX века. В этот период активно развиваются количественные методы исследования грунтов. Среди основных трудов по исследованию элювия можно отметить работы Е.М. Сергеева [141,142], В.Т. Трофимова [160], Г.А. Голодковской [35], Л.А. Ярг [182, 183], И.И. Гинзбурга [33] и многих других. Особое внимание уделяется физико-химическим процессам в элювиальных горизонтах. Важную роль играют работы по классификации и картированию элювиальных толщ.

Л.А. Ярг впервые систематизирует роль различных факторов в развитии процесса выветривания.

На рисунке 1.1 приведена разработанная ей схема взаимодействия различных факторов.

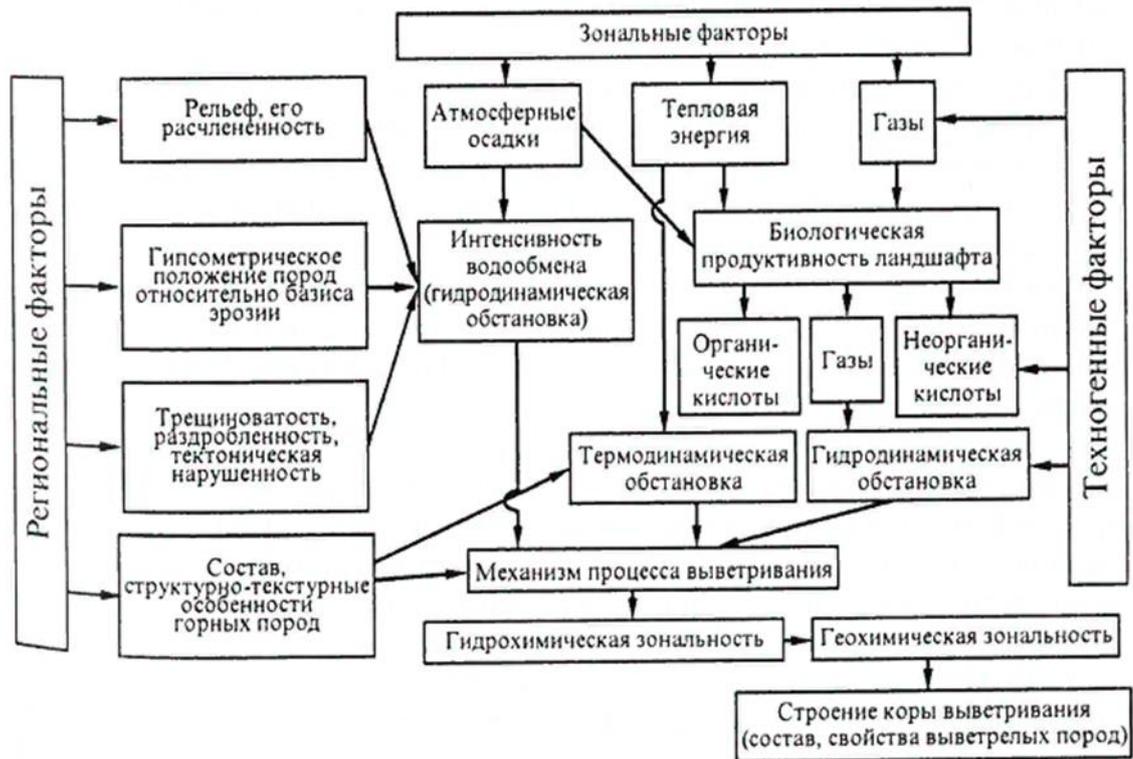


Рисунок 1.1. Схема взаимодействия зональных, региональных и техногенных факторов при формировании коры выветривания (Л.А. Ярг, 1974)

Выделяются следующие региональные факторы, определяющие гидродинамическую и термодинамическую обстановку, а также образующийся механизм выветривания.

1. Рельеф и его сложность. Речь идет о крутизне и экспозиции склонов.

На крутых склонах продукты выветривания быстро удаляются, что способствует более активному физическому выветриванию. На пологих склонах продукты выветривания накапливаются, способствуя развитию химического выветривания и формированию мощных элювиальных горизонтов. Ориентация склона относительно сторон света влияет на количество получаемой солнечной радиации, что сказывается на температурном режиме и интенсивности выветривания

2. Гипсометрическое положение. С повышением высот меняются температурные условия, количество осадков, состав воздуха. Это влияет на интенсивность и характер выветривания.

3. Трещиноватость, состав и структурно-текстурные особенности горных пород. Трещины увеличивают площадь поверхности пород, доступную для воздействия агентов выветривания. Зоны тектонических нарушений характеризуются повышенной трещиноватостью и раздробленностью пород, что делает их более уязвимыми для выветривания.

4. Состав пород, структурно-текстурные особенности: Состав пород имеет важное значение, так как различные минералы обладают разной устойчивостью к выветриванию. Влияют на прочность и водопроницаемость пород, что сказывается на интенсивности выветривания.

В качестве агентов выветривания большинство исследователей выделяют следующие:

1. Солнечное излучение. Вызывает колебания температуры, что приводит к активизации процессов физического выветривания.
2. Газовый компонент атмосферы. Кислород, углекислый газ и другие газы активно участвуют в химическом выветривании.
3. Атмосферные осадки. Являются основным источником воды для химического выветривания и эрозии.
4. Растительность. Корни растений разрушают породы, а органические кислоты, выделяемые растениями, участвуют в химическом выветривании.
5. Почвенный покров. Является продуктом выветривания и одновременно средой, в которой происходят процессы выветривания.
6. Колебания температур. Приводят к физическому выветриванию за счет термического расширения и сжатия пород.
7. Микроорганизмы. Бактерии и другие микроорганизмы участвуют в химическом выветривании, разлагая органические вещества и выделяя кислоты.

8. Техногенные факторы. Деятельность человека может значительно ускорять процессы выветривания.

Большинство этих факторов взаимосвязаны и совместно влияют на интенсивность и характер формирования элювиальных грунтов.

В ходе эволюции научных представлений о генезисе и распространении кор выветривания произошла существенная трансформация концептуальных подходов. Изначально, согласно гипотезам Г.А. Голодковской, И.И. Гинзбурга и др., формирование кор выветривания ассоциировалось исключительно с платформенными областями и рассматривалось как типичный платформенный процесс. Однако, последующие исследования, проведенные В.П. Казариновым и Д.Г. Сапожниковым, предоставили эмпирические доказательства развития кор выветривания в геосинклинальных условиях, что привело к пересмотру существующей парадигмы. Современная концепция постулирует отсутствие единой формации коры выветривания.

В рамках вышеупомянутой теоретической концепции были осуществлены комплексные литолого-геохимические и минералого-петрографические исследования кор выветривания на территории Южно-Уральской складчатой области. Этот регион представляет особый научный интерес благодаря своей сложной геодинамической эволюции, гетерогенной тектонической структуре и широкому спектру литолого-стратиграфических формаций различного генезиса и возраста.

Детальное изучение кор выветривания на Южном Урале с применением современных аналитических методов (включая рентгенофазовый анализ, электронную микроскопию и изотопную геохронологию) позволило существенно углубить понимание их генезиса, вещественного состава, текстурно-структурных особенностей и физико-химических свойств.

Полученные эмпирические данные и их интерпретация предоставили убедительные доказательства полигенетической природы кор выветривания, демонстрируя их способность к образованию в широком спектре геотектонических обстановок.

И.И. Гинзбург, основываясь на хронологическом принципе формирования, предложил дихотомическую классификацию кор выветривания [24]. Согласно данной таксономии, выделяются две основные категории:

1. Современная кора выветривания (неоэлювий):

Данная категория представлена актуальными элювиальными образованиями, характеризующимися активными процессами выветривания. Эти формации находятся в динамическом равновесии с современными экзогенными факторами и отражают текущие климатические, геоморфологические и гидрогеологические условия.

2. Древняя (реликтовая) кора выветривания (палеоэлювий):

Эта категория включает элювиальные комплексы, сформировавшиеся в предшествующие геологические эпохи и впоследствии погребенные под толщей более молодых осадочных или вулканогенно-осадочных напластований. Палеоэлювий представляет собой ценный источник информации о палеоклиматических и палеогеографических условиях прошлых геологических периодов.

И.И. Гинзбург выделяет различные типы структуры коры выветривания в зависимости от характера расположения зон с различной степенью выветрелости и геологического строения территории. Он выделяет следующие типы структур:

- **площадная структура:** В этом типе структуры зоны различной выветрелости имеют протяженность и покрывают значительные площади. Зоны высокой выветрелости могут занимать большие территории и характеризуются преобладанием современных кор выветривания, образованных в настоящее время. Такие зоны могут быть характерны для платформенных областей.
- **линейная структура:** Этот тип структуры характеризуется расположением зон высокой выветрелости в виде линейных полос или узких зон, которые простираются на довольно большие расстояния. Линейные структуры

могут быть связаны с определенными геологическими структурами, такими как разломы или структурные линии.

Метод разделения коры выветривания на основании геохимических критериев учитывает доминирующее влияние климатического фактора на интенсивность и характер процессов выветривания. Данный подход получил широкое признание в геологическом и геохимическом сообществе, при этом наибольшую популярность приобрели схемы зонального разделения, разработанные И.И. Гинзбургом [33] и А.Г. Черниковским [172].

Согласно этим концептуальным моделям, по мере прогрессирования процессов выветривания в вертикальном направлении происходит закономерная трансформация физико-химических параметров пород. Эта трансформация выражается в формировании дискретных зон выветривания, характеризующихся специфическими геохимическими и минералогическими ассоциациями. Совокупность этих зон образует интегральную структуру, известную как профиль выветривания.

Каждая зона в профиле выветривания отражает определенную стадию преобразования исходных пород под воздействием экзогенных факторов. Последовательность зон в профиле коррелирует с интенсивностью выветривания и степенью выноса подвижных элементов. Типичный профиль выветривания может включать следующие зоны (снизу вверх):

- Зона интенсивного разрушения (верхняя зона): если преобладает физическое выветривание, то в данной зоне происходит активное разрушение пород, что приводит к образованию различных дефектов и трещин. Это верхняя часть профиля выветривания.
- Зона слабой дезинтеграции и трещиноватости (нижняя зона): в этой зоне также происходит физическое выветривание, но с меньшей интенсивностью по сравнению с верхней зоной. Здесь породы могут подвергаться слабому разрушению и образованию трещин.

- Зона химического преобразования: если преобладает химическое выветривание, то в данной зоне происходят химические изменения состава пород. Это может приводить к разложению минералов и формированию новых минеральных соединений.
- Зона механической дезинтеграции: в этой зоне происходит разрушение пород в результате механических процессов, таких как абразия и разрушение мелкой фракции породы.

Таким образом, разделение коры выветривания на зоны геохимических критериев позволяет более детально изучить процессы, происходящие в породах под воздействием выветривания, и определить характерные особенности каждой зоны.

В инженерной геологии в зависимости от различных факторов предлагались различные схемы расчленения коры выветривания на зоны. В этой области наиболее известными являются работы Г.С. Золотарева [61], В.Б. Швеца [175], Л.А. Ярг, М. Варгаса, Н.В. Коломенского [73-76], Э.А. Джавахишвили [51], В.Д. Ломтадзе [93] и И.И. Гинзбурга [33]. В общем виде, исследователи классифицируют грунты на группы по степени их гипергенного изменения. Большинство классификаций зонируют профили выветривания от невыветрелой материнской породы до полностью выветрелых грунтов, часто меняющий свой класс со скальных до дисперсных.

При теоретическом рассмотрении структуры коры выветривания многие исследователи постулируют наличие выраженной вертикальной зональности профиля. Данная концепция базируется на фундаментальных принципах геохимической миграции элементов и эволюции почвенных растворов в процессе их вертикальной инфильтрации.

Ключевым фактором формирования зональности является градиентное изменение физико-химических параметров почвенных растворов по мере их просачивания вглубь профиля выветривания. Изначально кислые растворы,

образующиеся в верхних горизонтах под влиянием биогенных факторов и атмосферных осадков, подвергаются последовательной трансформации:

1. Нейтрализация: происходит постепенное повышение рН от кислого до нейтрального и слабощелочного диапазона.

2. Изменение ионного состава: наблюдается увеличение общей минерализации растворов за счет накопления продуктов выщелачивания.

3. Редокс-эволюция: отмечается снижение окислительного потенциала с глубиной.

Эти процессы обусловлены взаимодействием растворов с минеральной матрицей пород, буферными свойствами геохимической системы и градиентом окислительно-восстановительных условий.

Результатом описанных трансформаций является закономерное изменение интенсивности и характера процессов выветривания по вертикали профиля. В верхних горизонтах доминируют процессы интенсивного кислотного выщелачивания и окисления, тогда как в нижних частях профиля преобладают реакции гидролиза и ионного обмена в условиях слабощелочной среды.

Таким образом, вертикальная зональность коры выветривания отражает сложную систему геохимических барьеров и зон преимущественной миграции или аккумуляции различных элементов. Понимание этих закономерностей имеет ключевое значение для интерпретации геохимических аномалий, оценки ресурсного потенциала кор выветривания и реконструкции палеоклиматических условий их формирования.

Г.С. Золотарев предложил классификацию элювиальных грунтов на группы от I до V, основанную на особенностях исходных материнских пород и степени выветрелости пород в зоне гипергенеза.

Данная классификация демонстрирует градиентное изменение механических свойств элювиальных грунтов. Наблюдается тенденция к снижению прочностных и деформационных характеристик грунтов по мере перехода от первой группы к пятой. Это обусловлено следующими факторами:

1. Различия в исходной структуре и текстуре материнских пород.

2. Вариации в минералогическом составе и степени кристалличности.
3. Различная устойчивость пород к процессам выветривания.
4. Особенности вторичного минералообразования в процессе элювиогенеза.

Элювиальные грунты I группы фактически являются невыветрелой материнской породой и обладают максимальной прочностью.

Напротив, элювий осадочных неметаморфизованных пород (группа V) обычно демонстрирует наименьшие значения прочностных характеристик. Это обусловлено менее прочными структурными связями в исходных породах, большей подверженностью процессам выветривания и формированием значительного количества глинистых минералов в процессе элювиогенеза.

Промежуточные группы (II-IV) отражают постепенное изменение свойств элювия в зависимости от типа и степени метаморфизма исходных пород.

Понимание этой закономерности имеет важное практическое значение для инженерно-геологических изысканий и проектирования оснований и фундаментов сооружений на элювиальных грунтах. Классификация Г.С. Золотарева [60] позволяет на предварительном этапе оценить потенциальные механические свойства элювиальных грунтов на основе информации о литологии коренных пород.

Вопрос изучения физико-механических свойств элювиальных грунтов, бесспорно, имеет важное значение в изучении элювиальных грунтов. Множество ученых, таких как Ф.П. Саваренский [135], Э.Р. Черняк [171], Н.В. Коломенский, Г.С. Золотарев, В.Д. Ломтадзе, Н.Н. Маслов [103], В.Б. Швец, Л.А. Ярг, Е.Г. Чаповский [170], Е.В. Сергеева, В.П. Маричев [102], Г.К. Бондарик [12-14], А.Г. Барановский [11], Г.М. Арешидзе, Э.А. Джавахишвили, И.М. Горьков и другие, посвятили свои труды этой проблеме.

Анализ методологических подходов к исследованию физико-механических свойств элювиальных грунтов выявляет ряд существенных недостатков:

1. Недостаточная стратификация коры выветривания на дискретные зоны с различающимися свойствами грунтов. Интегральная оценка variability свойств элювиальных грунтов может быть корректно проведена только при условии дифференцированного исследования свойств грунтов в каждой отдельной зоне.

2. Тенденция к изолированному рассмотрению изменчивости физико-механических свойств без учета сопутствующих модификаций минералогического состава, структуры и текстуры грунтов. Данный подход затрудняет установление корреляционных зависимостей между этими факторами и свойствами грунтов.

Исследования механических свойств элювиальных крупнообломочных грунтов В.И. Федорова и Е.Г. Чаповского представляют собой значительный вклад в развитие инженерной геологии и геотехники. В их работах отмечается комплексный подход к изучению данной проблематики, включающим в себя как разработку новых лабораторных методик для определения прочностных и деформационных характеристик элювиальных крупнообломочных грунтов [163], так и непосредственное проведение масштабных экспериментальных исследований с целью получения статистически значимых данных о механических свойствах исследуемых грунтов [82].

Значительный вклад в региональные исследования элювиальных грунтов внес В.П. Маричева, которых сформулировал некоторые закономерности между механическими свойствами и физическими параметрами.

Л.А. Ярг [183] на основе анализа длительных наблюдений и испытаний, удалось разработать некоторые прогнозные методы, что позволило предсказать будущие изменения свойств грунтов и их возможное влияние на инженерные конструкции.

К успешным лабораторным исследованиям выветрелых грунтов следует отнести работы В.Б. Швеца [175], В.Н. Широкова [177], Н.А. Цилюрика [169] и Л.Г. Борейко [15], разработавших различные стенды и приборы для испытаний элювиальных грунтов. Полученные результаты позволили установить границы

зон коры выветривания и предсказать поведение грунтов в различных геологических условиях.

В настоящий момент изучение элювиальных грунтов развивается в следующих трех основных направлениях:

1. Применение современных методов исследования (рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, изотопные методы и др.) позволяет детально изучать состав, структуру и свойства элювиальных грунтов.

2. Развиваются математические модели, позволяющие прогнозировать поведение элювиальных грунтов в различных условиях.

3. Актуальными направлениями исследования являются: влияние антропогенной деятельности на элювиальные процессы, разработка методов рекультивации нарушенных элювиальных почв, изучение роли элювиальных процессов в глобальных биогеохимических циклах.

Так, исследования В. Г. Зотеева, Л. И. Костеровой, Л. И. Подкорытовой и Д. В. Макарова направлены на получение максимальной информации о физико-механических и физико-химических свойствах элювиальных грунтов и их совместной обработки с целью установления корреляций и взаимосвязей.

Развитие математической статистики, теории вероятностных полей в геологию представляет собой значимый момент в развитии исследований кор выветривания. Советская математическая школа внесла огромный вклад в изучении региональных свойств различных зон коры выветривания, и имена таких выдающихся ученых, как Е.Б. Дынкин, А.Н. Колмогоров, А.Я. Хинчин, С.Н. Бернштейн, Б.В. Гнеденко, В.С. Пугачев, являются краеугольными камнями в этом достижении.

Развитие этого направления позволило существенно улучшить понимание изменчивости свойств и состава грунтов. Вместо простого рассмотрения средних значений, стандартных отклонений и распределений, стало возможным более глубоко исследовать структуру данных, анализировать корреляции между различными характеристиками грунтов и оценивать вероятности различных событий.

На основе разработок Н.В. Коломенского, Г.К. Бондарика, В.П. Огоноченко стали возможными более точные оценки изменчивости свойств грунтов и определение параметров неоднородности в различных геологических формациях. Это позволило ученым выявить пространственные и временные закономерности изменения свойств грунтов в различных зонах коры выветривания и на разных глубинах.

Особый вклад в обработку и анализ геологических данных внесли такие ученые, как М.В. Рац, С.И. Чернышев, В.И. Шейнин, И.С. Комаров. Используя новые теоретические разработки, они смогли более эффективно интерпретировать результаты лабораторных исследований, выявить закономерности в распределении свойств грунтов и сделать выводы о физико-механических свойствах грунтовых образцов.

Важным результатом этих исследований стала возможность предсказывать поведение грунтовых образцов в различных инженерных условиях и на разных этапах выветривания.

Полевые методы исследования элювиальных грунтов развиты несравнимо меньше, по сравнению с лабораторными. В этой сфере отмечаются исследования В.Ф. Бусела, Р.С. Зиангирова и В.И. Каширского, которые разработали метод определения деформационных свойств дисперсных грунтов на основе данных статического зондирования [217]. В качестве фактического материала использовались многочисленные данные, полученные при параллельных определениях модуля деформации штампами и погружением стандартного зонда II типа [217]. Такой подход позволяет более точно прогнозировать свойства грунтов и оптимизировать инженерное проектирование и строительство.

Таким образом, развитие методов математистики дало возможность обработки больших массивов данных что стало существенным прорывом в геологии. Это обеспечило более глубокое понимание поведения грунтов и их изменчивости. Результаты этих исследований легли в основу многих нормативных документов и справочников, что делает их применение еще более актуальным и широко используемым на практике.

С начала 1950-х годов исследованиями элювиальных грунтов активно занимались и исследователи в других странах, среди которых следует отметить P. Mayne (2001) [204], N. Meyer, M. Kuhwald, Yongsheng Cheng (2012) [205], J. Petersen (2021), C.D. Ollier (1969) [208]. Работы этих ученых более глубоко понять процессы выветривания и изменения геотехнических характеристик элювиальных грунтов. Ученые из разных стран проводили обширные площадные исследования, что позволило выделить основные факторы, влияющие на инженерно-геологические свойства элювиальных грунтов. К значительным работам в этой области следует отнести исследования Xiaolidong, McLaughlin, BradMurray, Ward, Flint & Heffernan, (2019) [213], T.Y. Irfan (1996) [194].

Работы посвящены многочисленным исследованиям практического и теоретического характера, направленными на поиски и выявление определяющих развитие дезинтеграции пород факторов.

Позднее T.Y. Irfan предложил классификационную систему для скальных и дисперсных элювиальных грунтов, основанную на их физико-механических свойствах и минеральном составе, а также макро- и микроструктурных особенностях. Он выделил три главные группы грунтов (А, В, С) и их подгруппы (a, b, c).

Разработка классификационных схем для выветрелых грунтов представляет собой важный шаг в развитии инженерной геологии и геотехники. Эти схемы позволяют более точно описывать характеристики грунтовых массивов и прогнозировать их поведение в различных инженерных условиях. Вклад различных международных организаций в этой области способствовал созданию стандартизированных подходов, которые широко применяются в современной практике инженерно-геологических изысканий и проектирования.

В частности, Лондонское геологическое общество (Geological Society of London) разработало классификацию скальных грунтов на основании следующих параметров [187]:

- степень выветрелости (от свежей породы до полностью выветрелой);
- прочностные характеристики;
- трещиноватость и распределение разрывных нарушений;
- минералогический состав и текстурные особенности.

Свои классификационные схемы были предложены Международным обществом по механике горных пород (International Society of Rock Mechanics), Международной ассоциацией по инженерной геологии (International Association of Engineering Geology) и другими.

Во многих странах для классификации элювиальных грунтов используются количественные и качественные системы классификаций.

Количественные классификационные схемы обладают следующими преимуществами:

- высокая точность и объективность оценки;
- возможность использования для инженерных расчетов;
- сопоставимость результатов между различными исследованиями.

Основными определяемыми показателями количественных схем являются процентное содержание выветрелых грунтов, пористость, прочность на одноосное сжатие, модуль деформации, значения отскока молотка Шмидта и т.п.

Примеры количественных классификаций являются:

- Классификация ISRM (International Society for Rock Mechanics);
- Геомеханическая классификация RMR (Rock Mass Rating);
- Q-система (Norwegian Geotechnical Institute).

Качественные классификационные схемы основаны на определении визуальных показателей пород, таких как изменение структуры, текстурные особенности, цвет, степень трещиноватости, характер выветривания и т.п.

Преимуществами использования качественных классификационных схем являются простота и скорость применения, возможность использования непосредственно в полевых условиях, отсутствие необходимости специального оборудования

Примерами качественных классификаций являются:

- Классификация Геологического общества Лондона;
- Классификация Международной ассоциации инженерной геологии (IAEG).

И количественные, и качественные классификационные схемы имеют свои преимущества и ограничения. Выбор конкретной схемы зависит от целей исследования, доступных ресурсов и требуемой точности результатов. В современной практике часто используется комбинированный подход, сочетающий элементы обоих типов классификаций для получения наиболее полной и точной характеристики скальных и дисперсных элювиальных грунтов.

Разработка единой всемирной классификационной схемы для профилей коры выветривания является сложной задачей. Геологические и климатические условия в различных местах Земли могут значительно отличаться, что приводит к формированию разнообразных типов выветривания и различных характеристик грунтов.

Кроме того, в разных странах и регионах применяются разные подходы и традиции в исследовании и классификации грунтов. Учитывая множество факторов, таких как геология, климат, тип пород и прочие условия, зарождаются разнообразные региональные или местные классификационные схемы для профилей коры выветривания.

Однако стандартизация и унификация классификации остаются важными задачами для сравнения результатов исследований и обмена информацией между разными странами и научными сообществами. Международные организации и геологические общества продолжают усилия по созданию более универсальных и общепризнанных систем классификации, чтобы обеспечить более эффективное исследование и понимание процессов выветривания и характеристик грунтов по всему миру.

1.2. История изучения элювиальных грунтов на территории Восточного Закамья

Начало активного изучения инженерно-геологических условий юго-восточной части Республики Татарстан было связано, прежде всего, с промышленным освоением этого региона.

Геологическое изучение территории Республики Татарстан имеет длительную и богатую историю, берущую свое начало в 60-х годах XIX века. За этот период произошла существенная трансформация методологических подходов и концептуальных представлений о геологическом строении региона. Начальный этап исследований, охватывающий период с 1860 по 1917 годы, характеризовался преимущественно описательными методами и региональными монографическими исследованиями. Ключевые фигуры этого периода, такие как Н.А. Головкинский, А.В. Нечаев, П.И. Кротов и другие, заложили фундаментальные основы стратиграфии пермских отложений, провели первичную литологическую характеристику пород и начали изучение условий седиментогенеза пермского периода.

Постреволюционный этап, начавшийся после 1917 года, ознаменовался значительными изменениями в подходах к геологическим исследованиям. Этот период характеризовался развитием концептуальных представлений в области стратиграфии, палеогеографии и тектоники. Произошло уточнение хроностратиграфии пермских отложений, разработка детальных биостратиграфических схем и межрегиональная корреляция разрезов. В области палеогеографии были проведены реконструкции палеоландшафтов, анализ фациальных обстановок осадконакопления и палеоклиматические реконструкции пермского периода. Тектонические исследования включали идентификацию основных структурных элементов, анализ геодинамической эволюции региона и исследование корреляции тектонических структур с нефтегазоносностью.

Ранние исследования имеют неопределимое значение для современной геологии. Они сформировали фундаментальную базу данных, включающую систематизацию литолого-фациальных характеристик формаций и выявление закономерностей пространственного распределения литологических комплексов. Методологический вклад этих работ выразился в разработке и адаптации методик полевых исследований, а также создании алгоритмов интерпретации геологических данных. Историко-геологическая ценность этих исследований заключается в документации геологических объектов, подвергшихся антропогенной трансформации, и возможности долгосрочного мониторинга изменений геологической среды.

Современные тенденции геологических исследований в Республике Татарстан характеризуются интеграцией инновационных технологий, таких как применение геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования, а также внедрение высокоразрешающих геофизических методов. Наблюдается междисциплинарный синтез, выражающийся в интеграции геологических исследований с экологическими, геохимическими и геофизическими методами, а также анализе влияния геологических факторов на социально-экономическое развитие региона. Акцент смещается на прикладные аспекты, включая количественную оценку и мониторинг минерально-сырьевой базы, изучение геологических рисков и опасных экзогенных процессов, а также геоэкологические исследования и оценку антропогенного воздействия на геологическую среду.

История изучения четвертичных отложений на территории Татарстана насчитывает более 150 лет и представляет собой важный этап в развитии региональной геологии. Работы выдающихся ученых и экспедиций внесли значительный вклад в понимание геологической природы этой области. Е.И. Тихвинская [158] провела первое стратиграфическое и генетическое расчленение четвертичных отложений, выделив различные ледниковые и межледниковые эпохи и подчеркнув важность колебательных тектонических движений. Ее исследования также доказали дочетвертичный возраст

приказанского участка Волжской долины, что существенно повлияло на понимание геологической истории региона. Позднее работы А.П. Дедкова и О.Н. Малышевой [100] привели к созданию карты четвертичных отложений Татарской АССР в масштабе 1:500000, что ознаменовало новый этап в систематизации данных об отложениях этой территории [23]. Эти исследования заложили основу для дальнейшего изучения четвертичной геологии Татарстана и способствовали более глубокому пониманию геологических процессов, формировавших ландшафт региона на протяжении последних нескольких миллионов лет

Исследования В.И. Аверьянова в 1970-80 годах [2] внесли значительный вклад в понимание геологического строения неогеновых и четвертичных образований на территории Татарстана. В частности им были выполнены исследования по стратиграфической классификации неогеновых и четвертичных образований исследуемой территории.

В период развития геологических и геоморфологических работ внимание ученых, таких как В.А. Полянин, О.Н. Малышева, А.П. Дедков, Г.П. Бутаков и других, было привлечено к изучению четвертичных отложений Татарстана. Значительный объем материала был собран в результате масштабных геолого-съемочных работ, проводимых Татгеолтрестом, Средневожской экспедицией и Гидропроектом. Этот этап характеризовался усилением литологических и геоморфологических исследований, а также широким внедрением новых методов стратиграфического расчленения отложений, включая палинологические и палеомагнитные методы. Применение этих передовых техник позволило ученым постепенно отойти от традиционной альпийской схемы стратиграфии и сосредоточиться на более глубоком анализе региональных особенностей четвертичных образований [23]. Комплексный подход к изучению, сочетающий классические и инновационные методы исследования, способствовал значительному прогрессу в понимании геологической истории и строения четвертичных отложений региона. Это позволило создать более детальную и точную картину формирования и

распространения четвертичных образований на территории Татарстана, учитывающую местную специфику и особенности. Таким образом, данный период ознаменовался существенным шагом вперед в региональной геологии, заложив основу для дальнейших исследований и более глубокого понимания геологических процессов в Татарстане.

В период с 1968 по 1970 годы в рамках проведения комплексных геологических съемок масштаба 1:200000 Н.И. Тихоненко впервые для территории составил схему инженерно-геологического районирования масштаба 1:500000. Позднее А.М. Гилетин дополнил выполненные исследования, обобщив показатели физико-механических свойств супесей аллювиальных и делювиально-солифлюкционных отложений. Дальнейшее развитие этих исследований произошло в 1974 году когда И. М. Сеницын Н. Н. Толстунова и их коллеги провели комплексную съемку масштаба 1:200000 в пределах листа №-39-XVIII. Результатом их работы стала схематическая инженерно-геологическая карта масштаба 1:200000. Все эти исследования внесли значительный вклад в развитие инженерной геологии региона и обеспечения детальной информацией строительного сектора.

Исследованиями эрозионных процессов на территории Восточного Закамья в разное время занимались А.В. Ступишин (1980), А.П. Дедков, В.И. Мозжерин (1984), Г.В. Бастраков (1986), Г.П. Бутаков (1987, 1990), О.П. Ермолаев (1992). Вектор исследований был направлен на изучение современной активности процессов, особенно под влиянием техногенных факторов, связанных с интенсивным хозяйственным освоением территории. Объектами изучения являлись, в основном, эрозионные, оползневые и карстово-суффозионные процессы.

Эти работы значительно расширили понимание геологических процессов на территории республики, особенно в контексте растущего антропогенного влияния на окружающую среду.

Инженерно-геологические исследования на территории Восточного Закамья проводились Ленгипрокоммунстроем, Гипростроем, Геологическим

институтом КФАН СССР, МГУ им. М.В. Ломоносова, Казанским государственным университетом им. В.И. Ленина, Казанским трестом инженерно-строительных изысканий «КазТИСИЗ», Казанским инженерно-строительным институтом и другими производственными и научными организациями.

На сегодняшний день практически всю территорию Республики Татарстан покрывает инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200 000 (рисунок 1.2) [55, 65, 101].

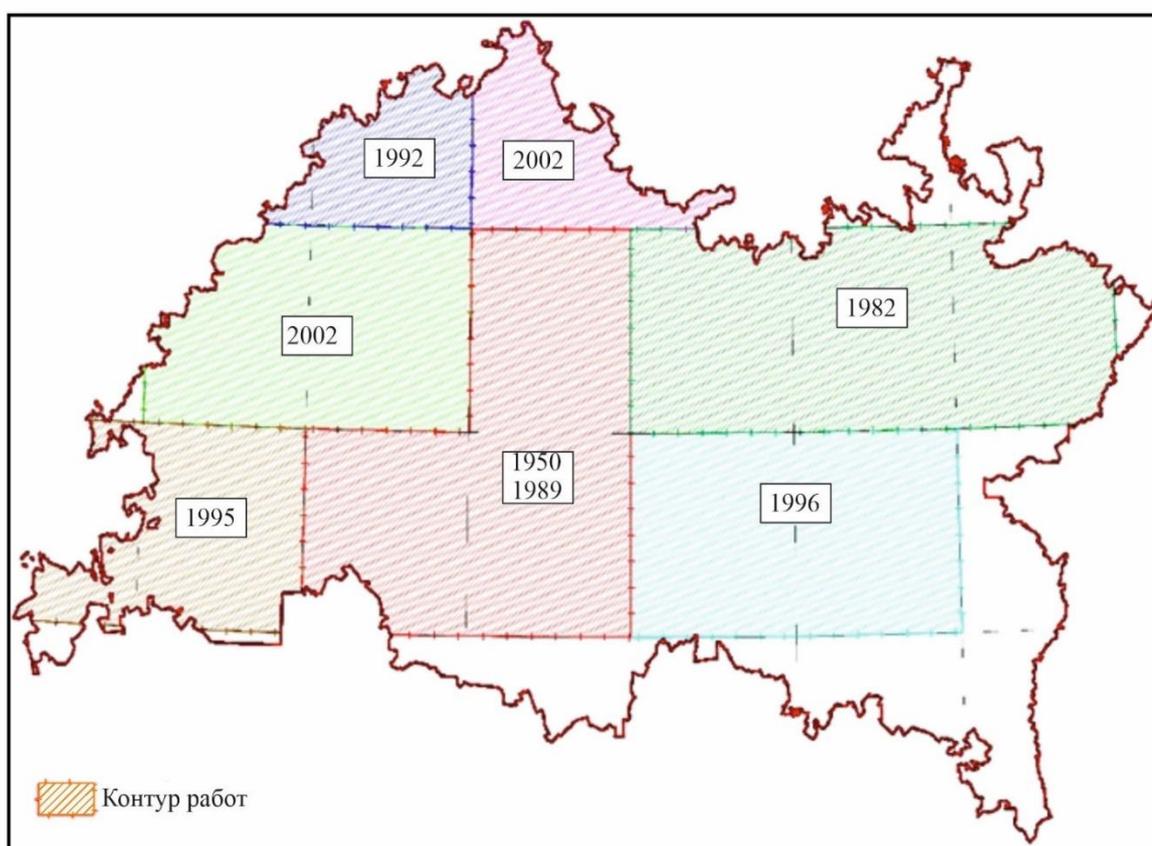


Рисунок 1.2. Картограмма выполненных инженерно-геологических съемок масштаба 1:200 000 на территории Республики Татарстан (по состоянию на 01.01.2014 г)

В этом плане территория Восточного Закамья до сих пор остается «белым пятном» (рисунок 1.3).

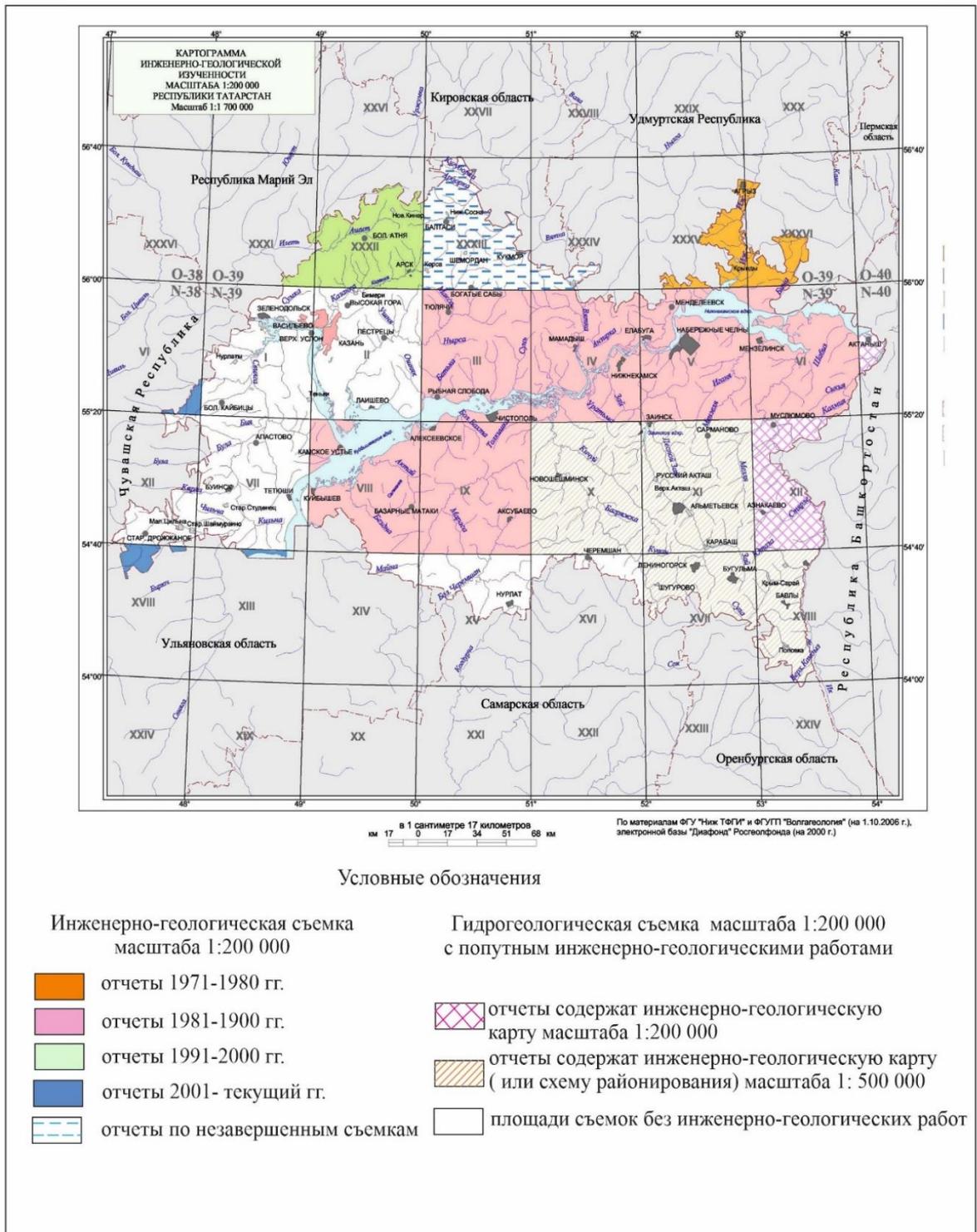


Рисунок 1.3. Карта инженерно-геологической изученности Республики Татарстан масштаба 1:1 700 000 (по состоянию на 01.01.2000 г)

Что касается элювиальных грунтов, их изучение на территории Республики Татарстан, как и во многих других регионах, часто ограничивается поверхностным описанием в общем контексте геологических условий. Исследованиями физико-механических свойств элювиальных грунтов на изучаемой территории занимаются частные инженерно-геологические и

строительные компании при проведении инженерно-геологических изысканий и проектировании различных сооружений. При этом отсутствует какая-либо база данных физико-механических свойств, системные подходы к региональной оценке инженерно-геологических условий территорий, сложенных элювиальными грунтами. Это затрудняет проведение более точных инженерных расчетов и принятие обоснованных решений в области инженерной геологии [22].

К наиболее системным картографическим работам на исследуемой территории следует отнести карту типов строения геологической среды территории Республики Татарстан масштаба 1:200 000, составленную ГУП «НПО «Геоцентр РТ» (рисунок 1.4).

Согласно выполненному районированию, на большей части территории Восточного Закамья покровными отложениями независимо от высот являются четвертичные элювиальные грунты, представленные суглинками и супесями, реже песками с дресвой и щебнем (полигоны 13, 14 и 15 на рисунке 4). Мощность отложений не превышает 1 м. В качестве подстилающих на эрозионно-денудационных водораздельных поверхностях с высотами 280-380 м выделены карбонатно-глинистые отложения переслаивающихся известняков, песчаников, глин, доломитов и мергелей, а на поверхностях с высотами 180-240 м – терригенно-карбонатная толща переслаивающихся пестроцветных глин, мергелей, алевролитов и песчаников.

По всей видимости при выполнении съемки в качестве элювиальных отложений были приняты верхние маломощные дисперсные зоны бесструктурного элювия по пермским породам, что, несомненно, не отражает реальной картины.

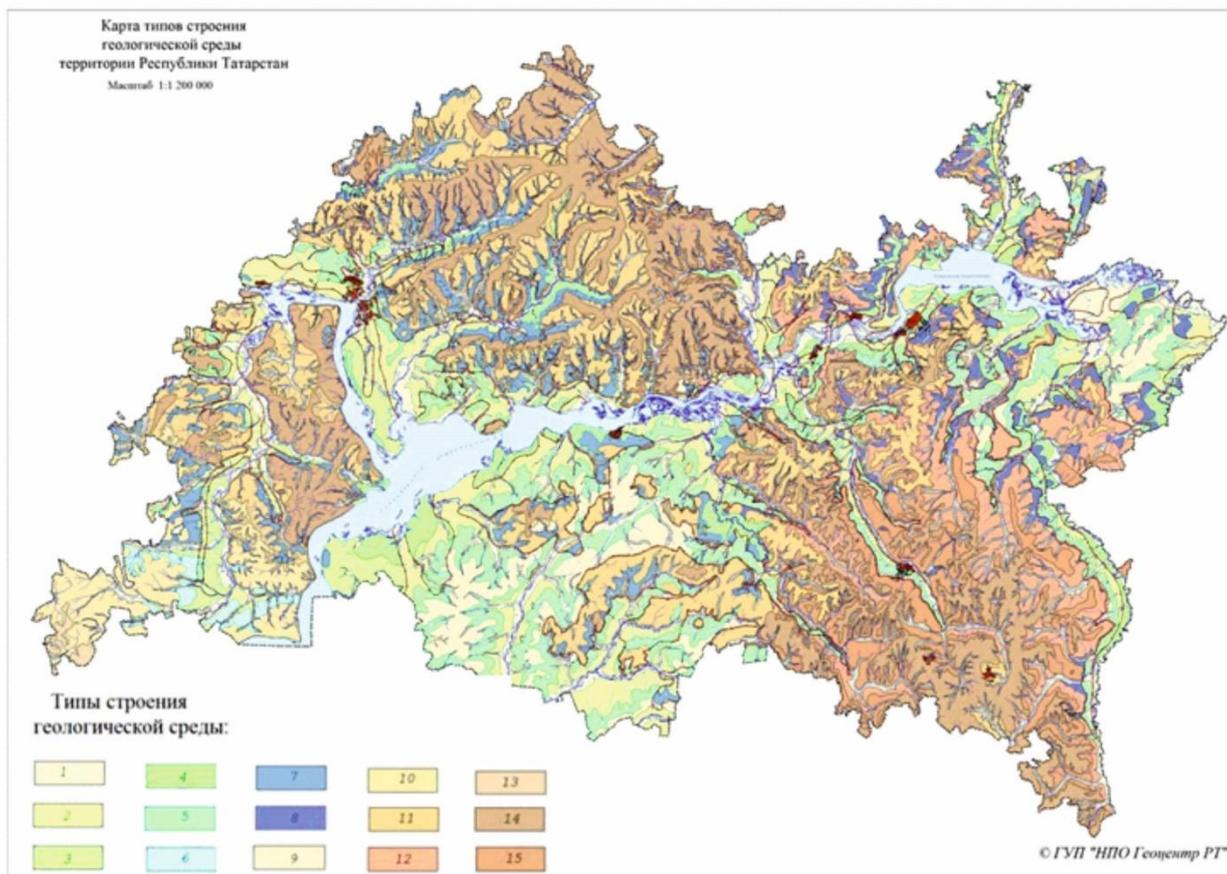


Рисунок 1.4. Карта типов строения геологической среды территории Республики Татарстан М 1:1 200 000. Составлена: ГУП "НПО "Геоцентр РТ"

Условные обозначения: 1-алювиальные отложения; 2 - плейстоценовые алювиальные отложения I-IV надпойменных террас, перекрывающие плиоценовые отложения; 3 - плейстоценовые алювиальные отложения I-IV надпойменных террас, перекрывающие верхнепермские отложения уржумского яруса; 4 - плейстоценовые алювиальные отложения I-IV надпойменных террас, перекрывающие верхнепермские отложения казанского яруса; 5 - отложения высоких эрозионно-аккумулятивных террас плиоцен-нижнечетвертичного возраста, перекрывающие плиоценовые отложения; 6 - отложения высоких эрозионно-аккумулятивных террас плиоцен-нижнечетвертичного возраста, перекрывающие юрские и нижнемеловые отложения; 7 - отложения высоких эрозионно-аккумулятивных террас плиоцен-нижнечетвертичного возраста, перекрывающие верхнепермские отложения уржумского яруса; 8 - отложения высоких эрозионно-аккумулятивных террас плиоцен-нижнечетвертичного возраста, перекрывающие верхнепермские отложения казанского яруса; 9 - верхнеплейстоценовые современные покровные отложения, перекрывающие терригенные отложения плиоценового возраста; 10 - верхнеплейстоценовые современные покровные отложения, перекрывающие терригенные юрские и нижнемеловые отложения; 11 - верхнеплейстоценовые современные покровные отложения, перекрывающие верхнепермские отложения уржумского яруса; 12 - верхнеплейстоценовые современные покровные отложения, перекрывающие карбонатно-глинистые отложения верхней перми казанского яруса; 13 - четвертичные элювиальные отложения, перекрывающие мергельно-меловую формацию верхнего мела; 14 - четвертичные элювиальные отложения, перекрывающие терригенно-карбонатные отложения верхней перми уржумского яруса; 15 - четвертичные элювиальные отложения, перекрывающие терригенно-карбонатные отложения верхней перми казанского яруса.

Выводы по первой главе

1. Исследования элювиальных грунтов имеют долгую историю и продолжают привлекать интерес ученых. Первые теоретические наработки и методики исследования элювия начались в 1950–1980е годы и связаны с именами таких ученых, как Е.М. Сергеев, Б.Б. Польшов, В.Т. Трофимов, Г.А. Голодковская, И.И. Гинзбург, Л.А. Ярг, К.И. Лукашев. Основным посылом выполненных исследований было то, что строение и состав грунтовых толщ, и распределение их свойств тесно связаны с особенностями геологического строения территории.

2. Первые схемы расчленения кор выветривания на зоны были предложены Г.С. Золотаревым, В.Б. Швецом, Л.А. Ярг, Б.Б. Польшовым, М. Варгасом, Н.В. Коломенским, Э.А. Джавахишвили, В.Д. Ломтадзе, И.И. Гинзбургом, А.В. Вторушиным и другими. К основным факторам, оказывающим влияние на инженерно-геологические особенности выделяемых зон, большинство исследователей относят петрографический и минеральный состав, структуру и текстуру кор выветривания, степень выветрелости и трещиноватости.

3. Исследования физико-механических свойств элювиальных связаны с именами таких ученых, как Ф.П. Саваренский, Э.Р. Черняк, Н.В. Коломенский, Г.С. Золотарев, В.Д. Ломтадзе, Н.Н. Маслов, В.Б. Швец, Ю.Д. Матвеев, Л.А. Ярг, Е.Г. Чаповский, Е.В. Сергеева, В.П. Маричев, Г.К. Бондарик, А.Г. Барановский, В.Н. Широков, Н.А. Циллорик и другие. Благодаря широкому применению методов математической статистики были сформулированы основные закономерности изменчивости свойств и состава грунтов.

4. Современные исследования элювиальных грунтов направлены, как правило, на изучение либо небольших по площади объектов, либо решают конкретные прикладные задачи. Например, работы А.Г. Барановского, Р.К. Илаловой, Н.М. Конне Амбеньян и др. занимаются изучением кор выветривания в ограниченных областях, а работы А.А. Сафроновой, Р.М. Каримова, Р.С. Смирнова, В.О. Городниченко, Е.Н. Сычкина, А.Н. Галкина, Д.М. Шестернева,

С.А. Александрова, О.М. Гуман, И.В. Абатуровой, Т.С. Бобина, Л.А. Стороженко и других ученых фокусируются на решении задач карстово-суффозионной опасности.

5. Практически отсутствуют исследования, направленные на изучение возможности применения полевых методов для оценки и идентификации элювиальных грунтов, за исключением работ В.Ф. Бусела, Р.С. Зиангирова и В.И. Каширского, которые занимались разработкой методики определения деформационных свойств дисперсных грунтов на основе данных статического зондирования.

6. Зарубежные исследования элювия связаны преимущественно с разработкой классификационных схем различных зон выветривания и рекомендаций для инженерных проектов, и направлены, в первую очередь, на обеспечение безопасности и надежности сооружений. Derakhshan-Babaei, Nosrati, Tihomirov, Chistl, Sadough и Egli, Meyer, Kuhwald, Petersen и Duttman, A.L. Little, P.G. Fookes и другие, проводили обширные исследования с целью выявления связей между физико-механическими свойствами элювиальных грунтов и условиями их образования. Xiaolidong, Cohen, Martin, McLaughlin, BradMurray, Ward, Flint и Heffernan, фокусировались на оценке возможных геологических опасностей, связанных с выветриванием грунтов.

7. На территории Восточного Закамья на сегодняшний день отсутствуют серьезные системные исследования элювиальных грунтов. Отсутствует как какая-либо база данных о физико-механических свойствах элювиальных грунтов, так и подход к региональной оценке инженерно-геологических условий территорий, сложенных элювиальными грунтами. Это представляет определенную сложность и неопределенность в решении прикладных задач инженерной геологии и проектирования объектов строительства, включая меры инженерной защиты от неблагоприятных инженерно-геологических процессов.

8. Исследования показывают, что существующие схемы расчленения коры выветривания на отдельные зоны имеют явно недостаточный характер и не охватывают всего разнообразия элювиальных грунтов и ни одна из них не может

быть использована для инженерно-геологической оценки кор выветривания Восточного Закамья.

9. Разработка единой всемирной классификационной схемы для профилей коры выветривания является сложной и пока не решенной задачей. Геологические и климатические условия в различных местах Земли могут значительно отличаться, что приводит к формированию разнообразных типов выветривания и различных характеристик грунтов. Кроме того, в разных странах и регионах применяются разные подходы и традиции в исследовании и классификации грунтов. Учитывая множество факторов, таких как геология, климат, тип пород и прочие условия, зарождаются разнообразные региональные или местные классификационные схемы для профилей коры выветривания.

10. Изучение элювиальных грунтов прошло длительный путь от описательных наблюдений до глубокого анализа с применением современных методов. Полученные знания имеют большое значение для решения важных практических задач в области сельского хозяйства, строительства, экологии и других

ГЛАВА 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ

2.1. Геоморфологическое строение территории

Исследуемая территория расположена в пределах 1:200000 масштаба листов N-39-V, N-39-VI, N-39-XI, N-39-XII, N-39-VII, N-39-VIII.

Территория Восточного Закамья имеет наибольшие абсолютные высоты на территории Республики Татарстан. Здесь можно встретить участки с превышением над уровнем моря до 300–330 метров. Максимальная высота 375 метров зафиксирована к югу от города Бугульмы, а минимальная 53 метра приходится на долину реки Камы.

Юго-восток Татарстана характеризуется высокой расчлененностью речными долинами. Реки в основном протекают через открытые местности. Их долины узкие и асимметричные, образуют луговые поймы, которые редко заболачиваются. Русла рек характеризуются извилистым течением со скоростью до 0,3 м/с, судоходные реки отсутствуют [37, 38].

Глубина промерзания почвы находится в тесной зависимости от температуры воздуха, а также от местных условий рельефа, растительности, механического состава грунтов, высоты снежного покрова и т.д. Проникновение отрицательных температур в почву ограничивается обычно глубинами 1,5–1,8 м, лишь в особенно суровые малоснежные зимы промерзание достигает 2,1 м. Растительный покров района характеризуется степной и лесостепной флорой.

По характеру рельефа, гипсометрическому положению и другим физико-географическим особенностям, на юго-востоке Республики Татарстан можно выделить северную пониженную (Камско-Бельская низменность) и южную приподнятую (Бугульминско-Белебеевская возвышенность) части. Граница между ними проходит примерно по линии Заинск-Муслимово. На рисунке 2.1 приведена гипсометрическая карта территории Восточного Закамья с выделенными областями Бугульминско-Белебеевской возвышенности и Камско-Бельской низменности.

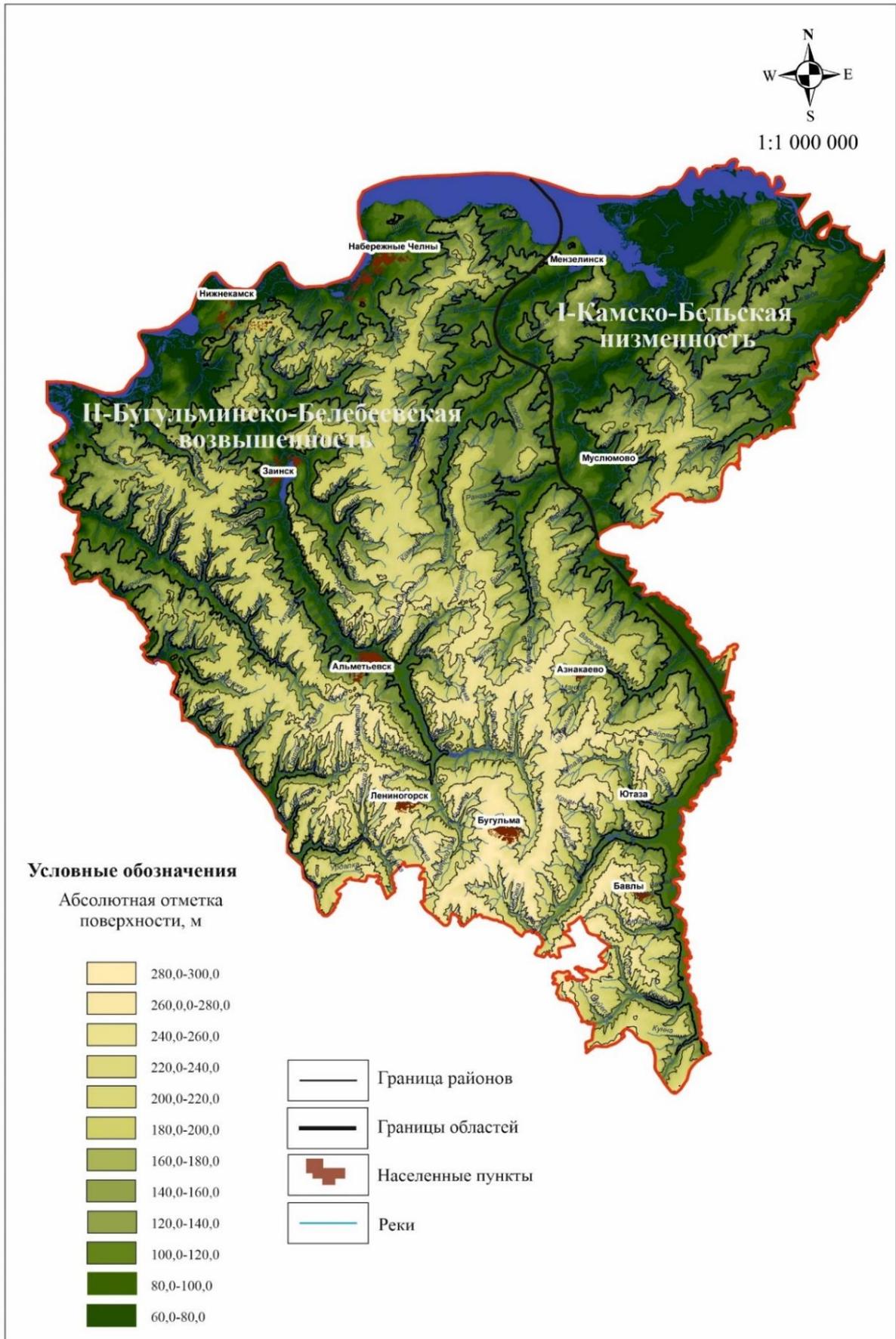


Рисунок 2.1 Гипсометрическая карта территории Восточного Закамья

Бугульминско-Белебеевская возвышенность, расположенная в центральной и южной части Восточного Закамья, представляет собой наиболее выраженную орографическую единицу Республики Татарстан. Расчлененная долинами рек Ик, Зай, Шешма и их притоками, она достигает абсолютных отметок в 300–330 м. Наивысшая точка (375 м) находится в орографическом узле истоков рек Дымки, Тумбарлинки и Сулы.

Для Бугульминско-Белебеевской возвышенности характерна интенсивное эрозионное расчленение, приподнятость и ступенчатость водораздельных пространств, значительное развитие структурных террас на склонах, широкое распространение карстовых процессов, формирующих специфические формы рельефа.

Характерной особенностью строения водоразделов, является ступенчатость, обусловленная в первую очередь тектоно-климатическими этапами развития территории. Локально эти ступени совпадают с пластами прочных горных пород (известняков, песчаников), поэтому являются бронированными.

В пределах рассматриваемой территории наблюдаются все три регионально развитые в Закамье ступени рельефа [48–50] – высокое (верхнее), среднее и нижнее плато (поверхности выравнивания) (рисунок 2.2).

Высокое плато является наиболее четко выраженной ступенью, развитой на абсолютных высотах 280–375 м. Высокое плато отличается весьма плоскими, выровненными участками небольшой ширины, разделенными густой сетью речных долин. Они часто называются "сыртами".

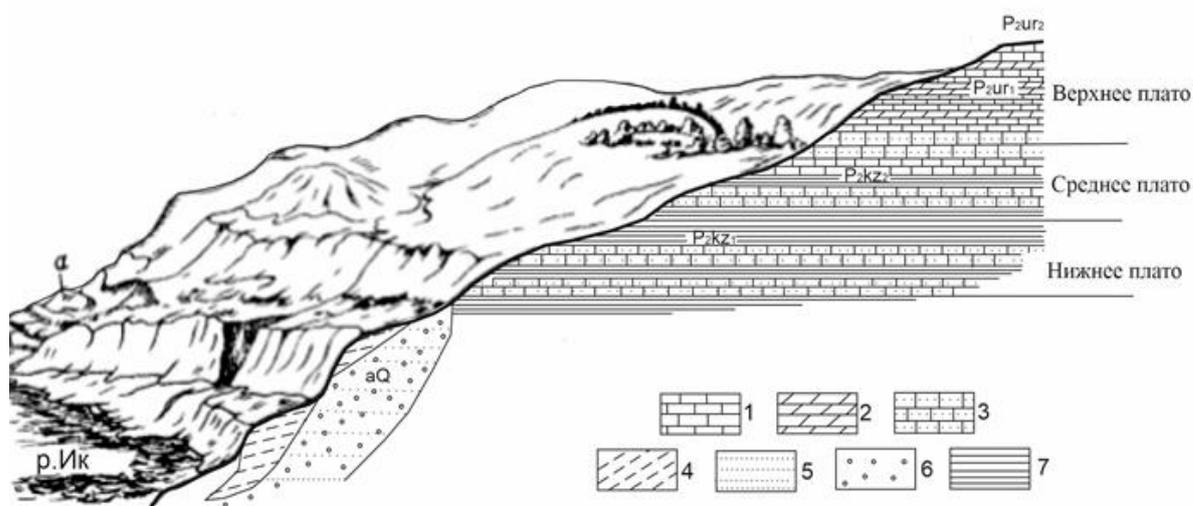


Рисунок 2.2. Схематический профиль ступенчатого строения склонов р. Ик (1 – известняк, 2- доломит, 3 – песчаник, 4 – супесь, 5 – песок, 6 – гравий, 7 – глина)

Ареалы доминирования высокого плато приурочены к водораздельным участкам между левыми притоками р. Ик (реки Дымка, Кандыз, Ютаза, Стерля) и правыми притоками р. Зай, в частности, Степным Заем (реки Ямашка, Урсала, Лесной Зай и др.), а также к междуречьям Степного Зая - Лесной Шешмы, Кувака - Кичуя. На рисунке 2.3 показаны характерные ландшафты отдельных районов Бугульминско-Белебеевской возвышенности.

Геоморфологические комплексы среднего плато распространены фрагментарно, локализуясь преимущественно вдоль долин основных рек и их крупных притоков. Гипсометрически данный уровень рельефа занимает диапазон абсолютных высот 200–240 м, местами опускаясь до 180 м. Наиболее масштабные участки среднего плато характерны для бассейнов рек Кандыз, Мелля, Мензеля, а также для нижнего течения р. Степной Зай.

Между верхним и средним плато иногда довольно четко выражен денудационный уступ высотой 40–60 м и крутизной 10–15°, но чаще всего переходы имеют более плавный характер. Выделенные два яруса рельефа являются денудационными, срезающими под один уровень различные слои пород уржумского и казанского ярусов верхней перми.



Бавлинский район



Ютазинский район



Бугульминский район



Альметьевский район



Азнакаевский район



Лениногорский район



Заинский район



Сармановский район

Рисунок 2.3. Ландшафт Бугульминско-Белебеевской возвышенности

Большинство исследователей признают миоценовый возраст формирования верхнего плато, поскольку в соседних регионах (на Приволжской возвышенности) этот уровень срезает породы вплоть до эоцена и олигоцена (А.П. Дедков, 1976, А.П. Рождественский, 1971).

Средний ярус рельефа образовался за счет разрушения верхнего, о чем свидетельствуют многочисленные останцы высокого уровня на поверхности среднего. Следовательно, послемiocеновый возраст этого плато не вызывает сомнений. Вероятнее всего, формирование его шло путем педиplanationи, т.е. параллельного отступления уступа, отделяющего среднее плато от верхнего. На этом основании время формирования 200-метрового плато определяется поздним плиоценом.

Нижнее плато приближено к долинам рек Кама, Ик, Белая. Ее абсолютные высоты составляют 150–180 м. От среднего плато этот уровень отделяется слабо, переходы чаще всего плавные, незаметные. Нижнее плато срезает различные слои пород верхней перми и плиоцена. На этом основании большинство исследователей считает его эоплейстоценового возраста.

В северной части Восточного Закамья, в связи с общим уклоном поверхности к р. Каме, платообразный характер рельефа сменяется полого-холмистым, субгоризонтальными, исключительно плавными очертаниями рельефа, характерной особенностью которого являются днища циркообразных замкнутых понижений (рисунок 2.4). В геоморфологическом отношении здесь расположена Камско-Бельская низина [26].

Эта часть района характеризуется высотами до 200 м. К долине Камы идет пологий склон, который заканчивается ясно выраженным уступом. Из верхних террас в долине р. Камы почти всегда ясно выражена и достигает ширины в несколько километров третья. Наличие четвертой и пятой террас отмечается в районе речных долин Ика и Зая.



Мензелинский район



Актанышский район



Муслюмовский район



Рисунок 2.4. Ландшафт Камско-Бельской низменности

Геоморфологически на территории Восточного Закамья можно выделить следующие формы рельефа:

АККУМУЛЯТИВНЫЙ РЕЛЬЕФ

Аккумулятивный рельеф исследуемой территории представлен серией аллювиальных террас, маркирующих различные этапы флювиальной активности, и современной голоценовой поймой. После регрессии акчагыльского бассейна в эоплейстоцене установился гидрологический режим с неглубокой врезанной гидросетью.

Геоморфологическая характеристика террас следующая.

Пятая (эоплейстоценовая). Расположена на высотах 100–145 м. Имеет аккумулятивное происхождение и прослеживается в пределах развития палеодолин рек Шешма и Степной Зай, сформированных в плиоцене. Ширина террасы варьирует от 1 до 1,5 км, а ее подошва вскрывается на абсолютных отметках 90–130 м.

Четвертая (ранненеоплейстоценовая). Расположена на высотах 100–120 м, имеет значительную протяженность (14 км) и ширину (до 3 км). Перекрыта

делювиально-солифлюкционными отложениями, что свидетельствует о последующих процессах склоновой денудации и аккумуляции.

Третья (среднеплейстоценовая). Сохранилась фрагментарно, слабо выражена в рельефе. Относительная высота – 30–35 м. Также перекрыта делювиально-солифлюкционными отложениями и расчленена оврагами.

Вторая (позднеплейстоценовая). Характеризуется сглаженным уступом и слабым наклоном поверхности, повсеместно перекрыта делювиальными и делювиально-солифлюкционными отложениями. Предполагаемый возраст – микулинско-калининское межледниковье.

Первая (позднеплейстоценовая). Также имеет фрагментарное распространение. Хорошо выражена в рельефе, прослеживается на аэрофотоснимках. Относительная высота – 4–5 м. Имеет четкий тыловой шов. Предполагаемый возраст – мончаловско-осташковский межледниковье.

Аккумулятивная пойма и русла всех рек района сложена современными аллювиальными отложениями общей мощностью до 25 м на крупных реках и до 16 метров на средних и малых. Подстилающие горные породами являются неогеновые пески и глины.

ЭРОЗИОННО - АККУМУЛЯТИВНЫЙ РЕЛЬЕФ

Формирование этой формы рельефа связано с заложением и формированием таких рек, как Кичуй, Шешма и Большая Сульча. Ключевыми этапами развития являются следующие.

А. Этап плиоцен-раннеплейстоценовой палеоречной сети

- Стратиграфическая позиция: погребенные под акчагыльскими и более молодыми отложениями.
- Морфометрические параметры: глубина вреза до 200 м, ширина 0,7–8 км. Профиль поперечный каньонообразный, часто асимметричный. Уклоны значительные (0,8–2,0 м/км), что превышает показатели современных рек в 5–10 раз.

- Пространственная ориентировка: общее смещение палеодолин влево относительно современных русел, обусловленное структурными и неотектоническими факторами. Истоки палеорек локализованы в пределах Бугульминской возвышенности.

Б. Неотектонический и экзогенный факторы в неоплейстоцене

- Акчагыльский век (плиоцен): характеризовался активной аккумуляцией осадков, что обусловило выравнивание рельефа и захоронение плиоценовой палеоречной сети.
- Ранний неоплейстоцен: на фоне возрастающей неотектонической активности произошло смещение русла р. Шешма к востоку, приближаясь к современному положению. В этот период формируется раннеоплейстоценовое переуглубление, прослеживаемое по р. Шешма на 14 км и заполненное мучкапско-окскими отложениями. Дно переуглубления врезано в пермские отложения и находится на 10–15 м ниже современного уреза р. Шешма.

Реконструкция палеорельефа и динамики речной сети имеет важное значение для понимания региональной геоморфологической эволюции. Выявленная многоэтапность развития рельефа свидетельствует о сложном взаимодействии тектонических и климатических факторов в неогене-четвертичное время.

Эрозионно-аккумулятивные террасы, сформированные в долинах рек региона, сложены аллювиальными отложениями, мощность которых варьирует от 9 до 22 м. Наибольшее распространение аллювий имеет на уровне первых двух надпойменных террас.

В долинах крупных рек подошва аллювия залегает на глубине 5–13 м от современного меженного уреза воды, а кровля поднимается на 8–12 м выше него [82]. Общая мощность аллювия в этих условиях достигает 14–22 м. В долинах малых и средних рек мощность аллювия сокращается до 9–18 м.

Аллювиальные отложения залегают на разновозрастном фундаменте, представленном отложениями неогеновой системы, а также отложениями казанского и уфимского ярусов средней перми.

Эрозионно-аккумулятивные нижние части склонов сложены аллювиально-делювиальными отложениями, которые расположены на четвертой и третьей террасах крупных рек с абсолютными высотами 100–140 м, а также на нижних частях склонов малых рек в том же высотном диапазоне [82]. Отложения представлены смешанным материалом, образованным в результате совместного действия речных и склоновых процессов. Мощность отложений относительно небольшая и обычно не превышает 1,5 метра, что указывает на преобладание процессов денудации в формировании современного рельефа.

ЭРОЗИОННО -ДЕНУДАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ

В этой группе выделяются две основные денудационные поверхности, сформировавшиеся в результате длительного воздействия экзогенных процессов, таких как выветривание, эрозия и солифлюкция:

А. Среднемиоценовая денудационная поверхность

Распространена в восточной и южной части региона, имеет абсолютные высоты 200–280 м. Местами ограничена уступом высотой 20–30 м, отделяющим ее от денудационной поверхности. Водоразделы территории имеют слабо всхолмленные или плосковыпуклые поверхности. Возраст поверхности – миоценовый, что подтверждается расположением ниже гипотетической палеогеновой поверхности. Выступает в качестве базиса денудации для формирования плиоценовых долин.

Б. Позднеплиоцен-эоплейстоценовая денудационная поверхность

Распространена в центральной и западной части региона на абсолютных высотах 140–170 м. Морфологически предстает собой плоские водоразделы шириной до 10 км, местами слабо всхолмленные с плавным переходом эрозионно-денудационные и делювиально-солифлюкционные склоны [82]. Возраст поверхности - позднеплиоценовый-эоплейстоценовый, что обосновывается ее положением в нижнем ярусе рельефа.

Верхняя (палеогеновая) денудационная поверхность на территории отсутствует, что связано с ее полным разрушением в результате последующих денудационных процессов.

В современном рельефе территории Восточного Закамья хорошо выделяются следующие формы геоморфологические формы, различающихся по своему положению в рельефе, составу и генезису слагающих их отложений.

Эрозионные поверхности средней части склонов:

Распространены в пределах высот 140–190 метров и сформированы в результате активного склонового смыва (делювиальные процессы), сноса материала с вышележащих уровней и его накопления у подножия склонов (пролювиальные процессы), а также под воздействием эрозионной деятельности временных водотоков. Сложены делювиально-пролювиальными и элювиально-делювиальными отложения, представленными блоками, глыбами и обломками коренных пород (преимущественно казанского яруса), а также щебнисто-суглинистым материалом четвертичного возраста. Мощность отложений составляет в среднем 3–5 м и увеличивается в нижних частях склонов до 10–15 м.

Эрозионно-денудационные поверхности водораздельных частей

склонов

Сформированы как под действием процессов выветривания и почвообразования (элювий), так и склонового смыва (делювий). Абсолютные высоты поверхности находятся в диапазоне 200–260 метров. Сложены преимущественно элювиально-делювиальные отложения, состав которых определяется подстилающими породами (казанский ярус). Мощность отложений составляет 7–9,5 м (примерно в два раза больше по сравнению с элювиальными отложениями водоразделов).

Эрозионно-денудационные поверхности водоразделов:

Сформированы в результате длительного воздействия процессов выветривания и почвообразования коренных пород. Абсолютные отметки верхнего плато находятся в диапазоне 280–375 метров, среднего плато – 200–240

м, нижнего плато – 140–190 метров. Литологический состав пород: преимущественно элювиальные отложения (терригенные, карбонатные или терригенно-карбонатные). Мощность отложений на участках верхнего плато не превышает нескольких метров, увеличивается с понижением абсолютных высот и достигает значений 10 м на участках нижнего плато. Подстилающими породами являются отложения уржумского и казанского ярусов средней перми.

2.2. Геологическое строение территории

В геологическом отношении территория Восточного-Закамья сложена преимущественно мелководно-морскими отложениями казанского яруса и континентальными отложениями уржумского яруса Биармийского отдела пермской системы и лишь в отдельных пунктах отмечены выходы пород нижней перми Приуральского отдела. Среди нижнепермских отложений выделяются: сакмарские, артинские и кунгурские образования, а верхний отдел представлен уфимскими, казанскими и уржумскими образованиями [29, 30, 105, 106, 108, 112]. Фрагмент геологической карты территории показан на рисунке 2.5.

НИЖНИЙ ОТДЕЛ ПЕРМИ (ПРИУРАЛЬСКОГО ОТДЕЛА)

В пределах юго-востока Татарстана нижний отдел пермской системы представлен сакмарским, артинским и кунгурским ярусами, из которых два последних не имеют повсеместного развития

Сакмарский ярус. На описываемой территории отложения сакмарского яруса имеют повсеместное распространение. Поверхностный выход зафиксирован в районе д. Каркали, где эти отложения несогласно перекрываются образованиями уфимского яруса верхней перми. К поверхностному выходу приурочены отложения известняков светло-серых, местами окремнелых с довольно многочисленной фауной. Видимая мощность известняков достигает 23м. Эти известняки могут быть отнесены к верхнему (стерлитамакскому) горизонту сакмарского яруса. На остальной части территории эти отложения повсюду вскрыты лишь буровыми скважинами.

Артинский ярус. Артинские отложения распространены лишь в восточной части территории. Западнее линии, соединяющей населенные пункты Мензелинск-Саклов-Баш -Бугульма, артинские отложения отсутствуют, так как были полностью уничтожены во время предкунгурского перерыва в осадконакоплении. Мощность отложений достигает значения 41 м.

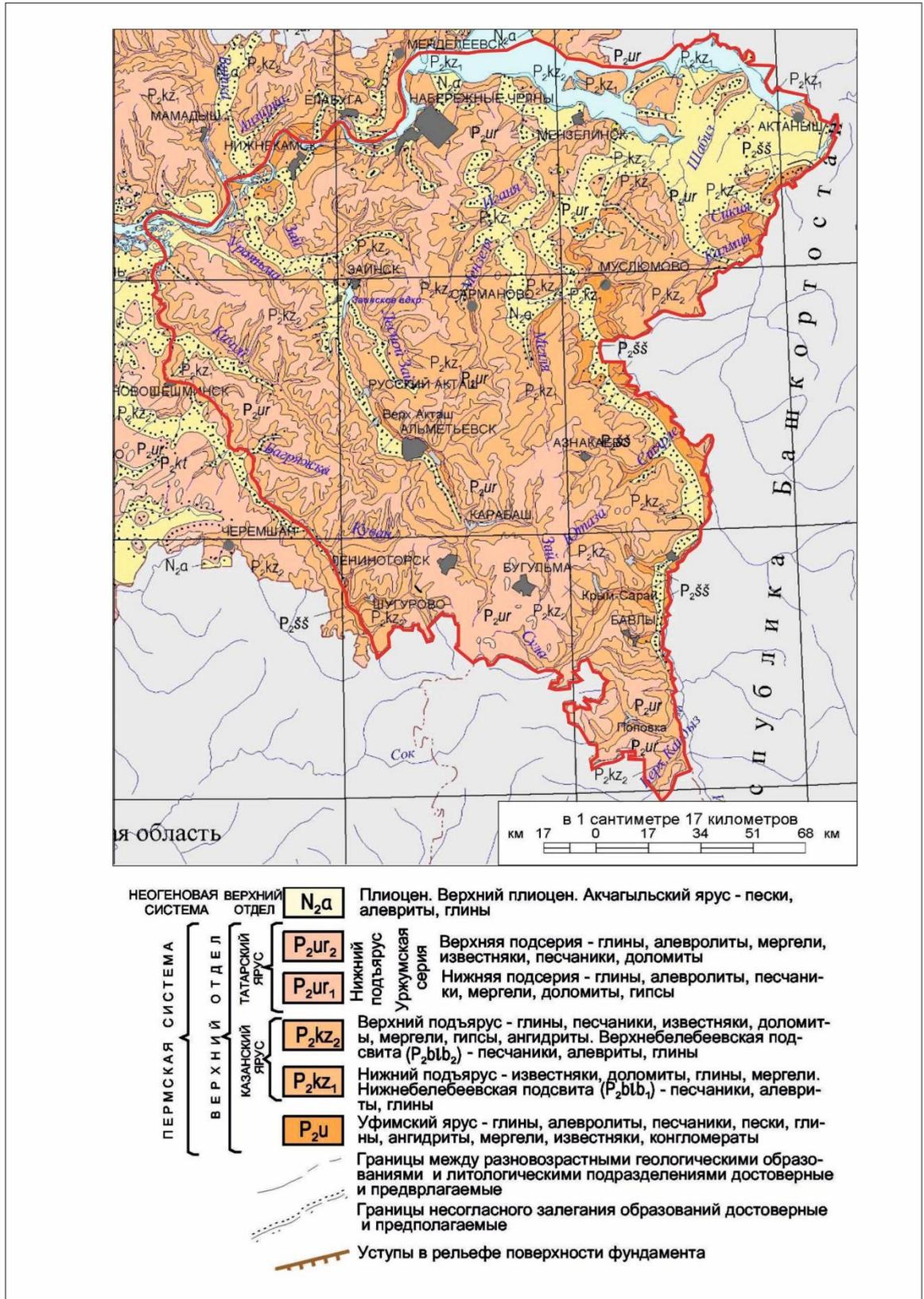


Рисунок 2.5. Геологическая карта юго-восточной части РТ (Вырезка с геологической карты РТ. Масштаб: 1:700 000)

Кунгурский ярус. Отложения яруса имеют развитие лишь на крайнем востоке Татарстана. Естественных выходов пород этого яруса на дневную поверхность не наблюдается. Трансгрессивно залегают на артинском ярусе, на что указывает наличие размыва на границе ярусов, указывая на перерыв в осадконакоплении. В строении яруса преобладают карбонатные породы (доломиты и известняки), а также сульфатные отложения (ангидриты и гипсы).

ВЕРХНИЙ ОТДЕЛ ПЕРМИ (БИАРМИЙСКОГО ОТДЕЛА)

Включает в себя уфимский, казанский и уржумский ярусы.

Уфимский ярус. Выходы на поверхность наблюдаются преимущественно в речных долинах (Кама, Ик, Степной Зай, Дымка, Ютаза, Уруссу, Сюнь [82]), что указывает на то, что в остальных местах ярус перекрыт более молодыми отложениями. Стратиграфически разделен на два горизонта:

Соликамский горизонт (нижний). Имеет мощность от 3 до 45 м, что говорит о нестабильных условиях осадконакопления, возможно, о близости к области сноса обломочного материала. Состав пород: известняки, доломиты, мергели, глины, алевролиты, песчаники, брекчии, ангидриты и гипсы.

Шешминский горизонт (верхний). Характеризуется ритмичным чередованием красноцветных терригенных пород: песчаники, глины, алевролиты и конгломераты. Ритмичность отложений может указывать на цикличность осадконакопления, связанную, например, с климатическими изменениями или тектоническими движениями.

Казанский ярус. Трансгрессивно налегает на породы шешминского горизонта и слагает склоны долин рек Кама, Ик, Степной Зай, Мензеля и их водоразделы. В самых высоких водораздельных пространствах он перекрыт только уржумскими отложениями. В зонах распространения эрозионных врезов, образованных в четвертичный период, казанский ярус размыт частично или полностью. По литолого-фациальным особенностям и палеофаунистической характеристике казанский ярус подразделяется на два подъяруса нижний и верхний [155].

Нижнеказанский подъярус характеризуется средней мощностью от 10 до 15 м, но на отдельных участках наблюдается ее локальное увеличение до 90 м.

Такие колебания мощности указывают на неравномерный характер осадконакопления, что может быть связано с тектонической активностью региона в то время. Гипсометрические высоты кровли находятся в пределах от 120 до 190 метров. Это указывает на значительный денудационный срез, который произошел в данном регионе после отложения казанского яруса. Литологический состав пород характеризуется наличием песчаников, глин, известняков с прослоями алевролитов, конгломератов, мергелей. Это указывает на сложную историю осадконакопления с чередованием морских, прибрежно-морских и континентальных условий.

Верхнеказанский подъярус распространен на склонах долин рек Кама, Степной Зай, Ик, Сюнь и Стярле. Представлен преимущественно красноцветными песчаниками, что свидетельствует о континентальных условиях осадконакопления в условиях аридного климата. Мощность подъяруса составляет от 70 до 180 метров, увеличиваясь с юго-запада на северо-восток. Это может указывать на направление сноса обломочного материала [82].

Уржумский ярус. В отличие от казанского яруса, отложения уржумского распространены меньше и приурочены к вершинам водораздельных хребтов. Это свидетельствует о поднятии региона и смене режима осадконакопления.

Стратиграфически делится на два подъяруса: нижний и верхний. Литологический состав пород характеризуется наличием континентальных красноцветных пород: песчаников, алевролитов, глин, мергелей, известняков и доломитов [23]. Такое разнообразие указывает на сложную историю осадконакопления с чередованием континентальных, прибрежно-морских и морских обстановок. Мощность яруса достигает 106–120 м.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ГРУППА

Кайнозойские породы широко распространены на территории юго-восточного Татарстан. В их составе выделяют неогеновые и четвертичные отложения. Карта четвертичных отложений представлена на рисунке 2.7.

Неогеновая система. Отложения неогена в районе работ весьма широко распространены и представлены только образованиями верхнего отдела - плиоцена.

Плиоцен. Плиоценовые отложения яруса слагают палеоврезы рек Кама, Степной Зай, Ик, Сюнь, Стягле и др. [82]. Абсолютные отметки кровли плиоценовых отложений составляют 84,0–160,0 м. Отложения плиоцена на большей части территории перекрываются маломощными (первые метры, редко – первые десятки метров) четвертичными образованиями.

Литологический состав пород плиоцена характеризуется наличием суглинков, глин и алевритов с прослоями песков и гравийно-галечниковых отложений.

Четвертичная система. На территории Восточного Закамья выделяются отложения трех разделов четвертичной системы: эоплейстоцена, неоплейстоцена и голоцена [66, 134].

На рисунках 2.6 и 2.7 показаны схематический разрез и карта четвертичных отложений Восточного Закамья соответственно.

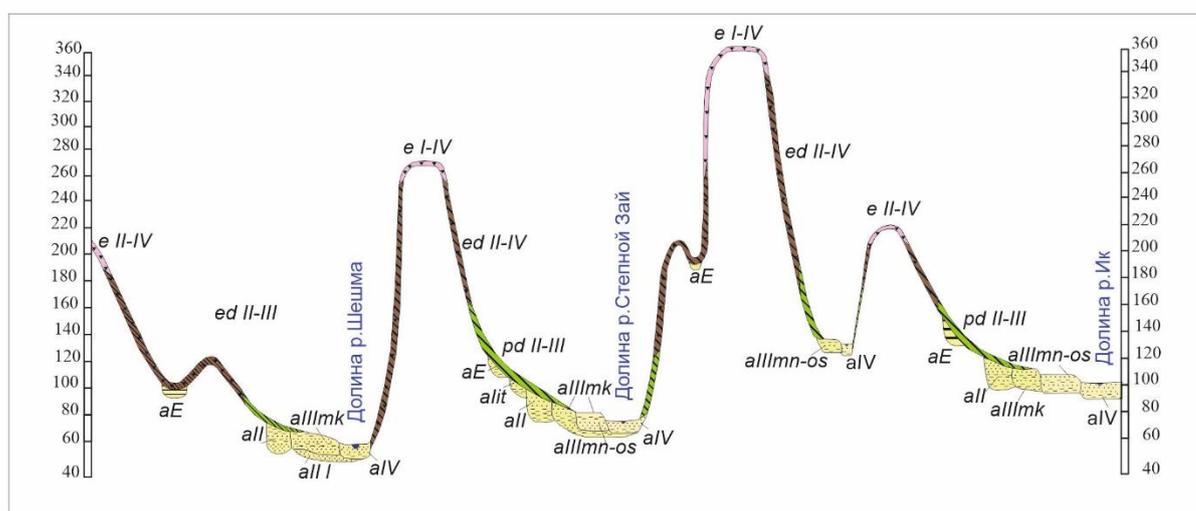


Рисунок 2.6. Схематический разрез четвертичных отложений Восточного Закамья по линии I-II (линия разреза показан на рисунке 2.7)

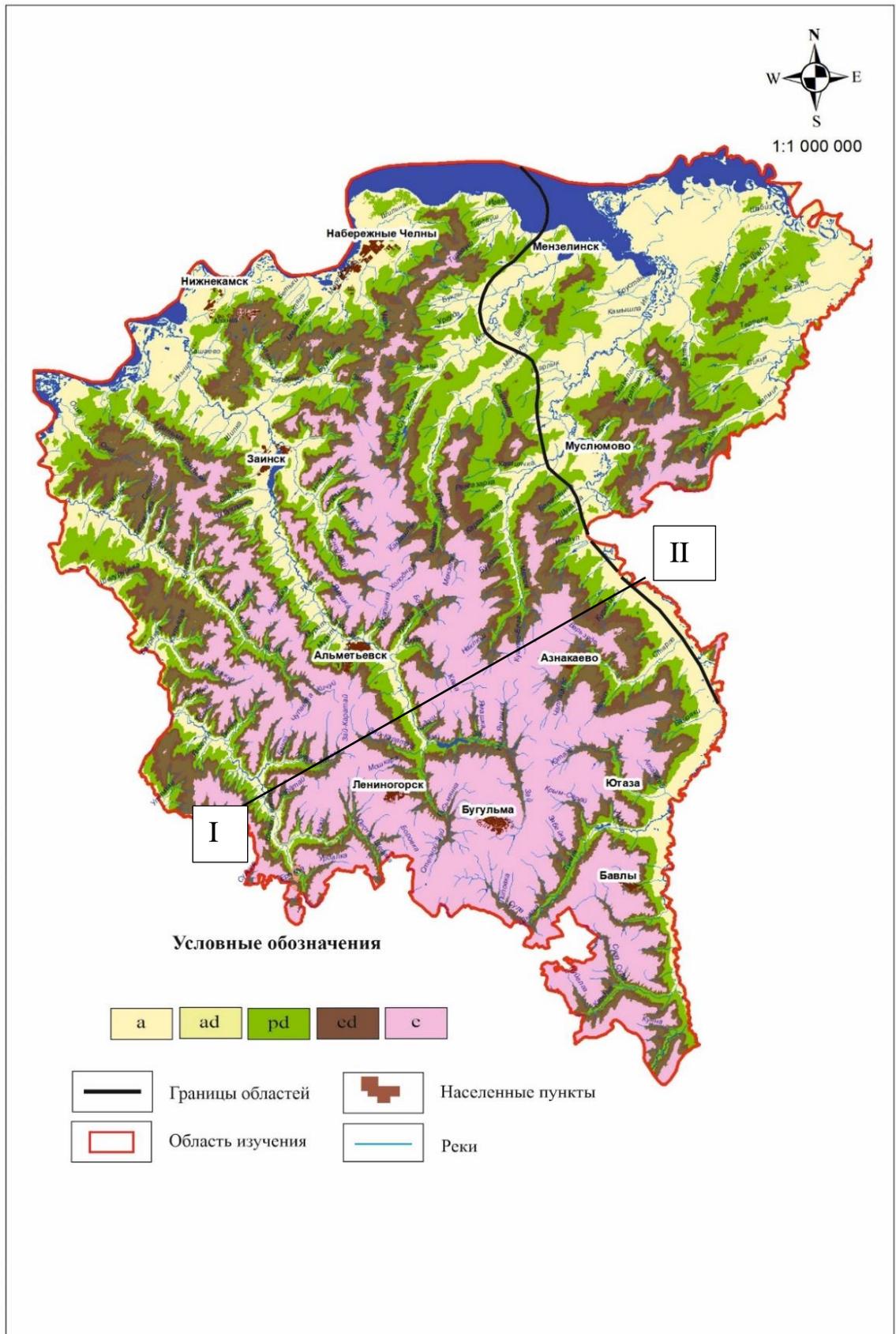


Рисунок 2.7. Карта четвертичных отложений Восточного Закамья (разрез по линии I – II показан на рисунке 2.6. Построена на основании карты четвертичных отложений сайта: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/>

Эоплейстоцен. Представлены аллювиальными образованиями, что указывает на их формирование реками в долинах. Слагают шестую (высокую) цокольную террасу рек Камы, Степного Зая, Лесного Зая, Мензели, Мелли, Ика и их притоков. Залегают на породах акчагыльского яруса с размывом. Это говорит о том, что после накопления акчагыльских отложений произошло врезание речной сети, а затем - накопление эоплейстоценового аллювия. Местами могут залегать на породах казанского яруса, что указывает на более глубокое эрозионное врезание в этих местах.

Неоплейстоцен. Представлен аллювиальными отложениями нижнего, среднего и верхнего звеньев, слагающими пять надпойменных террас, и покровными образованиями различного генезиса и возраста, залегающих на склонах речных долин и пологих водоразделах.

Нижнее звено и среднее звено. В составе звена выделяются отложения ильинского горизонта и отложения, условно сопоставляемые с мучкапско-окскими горизонтами. Мощность аллювия ильинского горизонта в долине р. Степной Зай до 12,0 м. У мучкапско-окского горизонта мощность до 22 м.

Среднее звено. К среднему плейстоцену отнесены отложения, слагающие третью и четвертую надпойменные террасы. Эти отложения выделяются в значительной степени условно, поскольку морфологически террасы из-за мощного чехла перекрывающих их склоновых образований, выделяются слабо. В целом литологическое строение толщи характерно для аллювия, формирующегося в перегляциальных условиях, и сопоставляется с аналогичными отложениями в долинах рек Кама, Белая и их притоков.

Среднее и верхнее звенья. Литологический состав пород характеризуется наличием пролювиально-делювиальных суглинков, перекрывающих аллювий нижних террас.

Голоцен. Голоценовые отложения представлены двумя основными типами:

1. Аллювиальные отложения: Сформированы реками и слагают пойменные террасы всех рек региона и сложены серыми и коричневыми

кварцевыми разнозернистыми песками с обломками местных осадочных пород. Мощность варьируется от 3 м у малых рек до 10 м у крупных.

2. Покровные отложения: Образованы в результате элювиальных и делювиальных процессов. Литологический состав представлен песками, супесями и суглинками. Мощность не превышает первых метров.

2.3. Гидрогеологические условия

В соответствии с гидрогеологическим районированием для Государственного водного кадастра, рассматриваемая территория листов V, VI, XI, XII, XVII, XVIII расположена в пределах Восточно-Русского сложного бассейна пластовых и блоково пластовых вод и, непосредственно, приурочена к Камско-Вятскому артезианским бассейнам (второго порядка). Гидрогеологическое расчленение разреза проведено в соответствии с утвержденной в 1993 году сводной легендой Средне-Волжской серии листов Государственной гидрогеологической карты России масштаба 1:200000. Выделенные на исследуемой территории гидрогеологические подразделения показаны на гидрогеологической карте (рисунок 2.8). Гидрогеологические условия характеризуются значительной сложностью.

Водоносные горизонты и комплексы находятся в зоне активного водообмена. Они пополняются за счёт инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод. В пределах водоразделов происходит переток воды из верхних горизонтов в нижние. В долинах рек вода может подниматься вверх из нижних подразделений [31, 32]. Грунтовые воды залегают в пределах 4,8–35,0 м.

Часто на территории встречаются также водоносные горизонты типа "верховодки". Режим "верховодки" зависит от количества инфильтрующихся осадков. Мощность водоносных грунтов невелика и редко достигает 1,0–2,0 м.

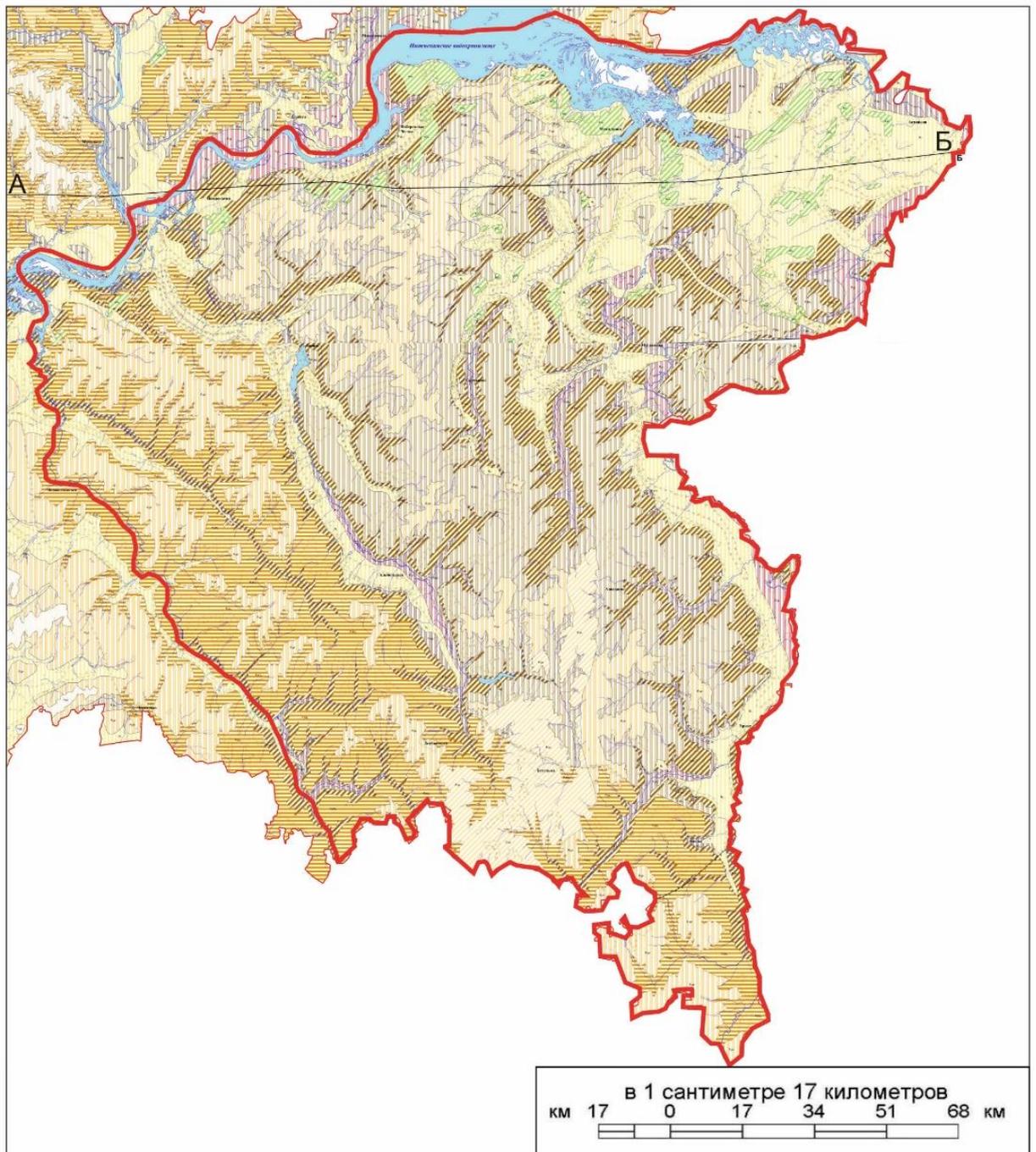


Рисунок 2.8. Гидрогеологическая карта Восточного Закамья (вырезка с гидрогеологической карты РТ. Масштаба 1:200 000, авторы Волкова И.П, Давыдов Р.Н). Условные обозначения показаны на рисунке 2.9. Разрез по линии А – Б показан на рисунке 2.10.

I. Гидрогеологические подразделения, распространенные по площади		
Первые от поверхности	Залегающие ниже первых от поверхности	Наименование гидрогеологического подразделения
		Водоносный локально слабодоносный эоплейстоценовый аллювиальный комплекс
	± ± ±	Водоносный локально водоупорный неоген-четвертичный аллювиальный комплекс
	—————	Водоупорный плиоценовый озерный горизонт
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный плиоценовый терригенный комплекс
		Водоносный локально слабодоносный средне-верхне ачкагыльский озеро-аллювиальный комплекс
	± ± ± ±	Водоносный нижеачкагыльский аллювиальный горизонт
	± ± ±	Слабодоносный локально водоупорный понт-киммерийский озеро-аллювиальный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный котельнический терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Водоносный локально слабодоносный уржумский терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально-водоносный верхнеуржумский терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный нижеуржумский терригенный комплекс
		Водоносный казанский сульфатно-карбонатный комплекс
	± ± ±	Водоносный локально слабодоносный казанский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный верхнеказанский карбонатно-терригенный комплекс (Восточный склон Мелекесской депрессии)
	± ± ±	Водоносный верхнеказанский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный верхнеказанский терригенный комплекс
		Слабодоносный локально водоносный нижеказанский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Водоносный нижеказанский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Водоносный локально слабодоносный нижеказанский (пачки 3 и 2) карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный нижеказанский (пачка I) карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный уфимский терригенный комплекс
	+ + +	Совмещенная граница распространения слабодоносного локально водоносного уфимского терригенного комплекса и слабодоносного локально водоупорного понт-киммерийского озеро-аллювиального комплекса
		Водоносный стрелитамакско-соликамский сульфатно-карбонатный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный сакмарско-кунгурский сульфатно-карбонатный комплекс
	± ± ±	Слабодоносный локально водоносный сакмарский карбонатный комплекс
		Водоупорный локально слабодоносный сакмарский карбонатно-сульфатный комплекс
		Слабодоносный каширско-ассельский карбонатный комплекс (только на разрезах)
	± ± ±	Локально водоносная зона Карлинских дислокаций
		Водоупорный локально-слабодоносный верейский карбонатно-терригенный комплекс
		Неводоносные (полностью сдренированные) гидрогеологические подразделения
	± ± ±	Слабопроницаемый неводоносный котельнический терригенный комплекс
	± ± ±	Слабопроницаемая неводоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс
	± ± ±	Слабопроницаемый неводоносный верхнеказанский карбонатно-терригенный комплекс

Рисунок 2.9. Условные обозначения к гидрогеологической карте Восточного Закамья (рисунок 2.8)

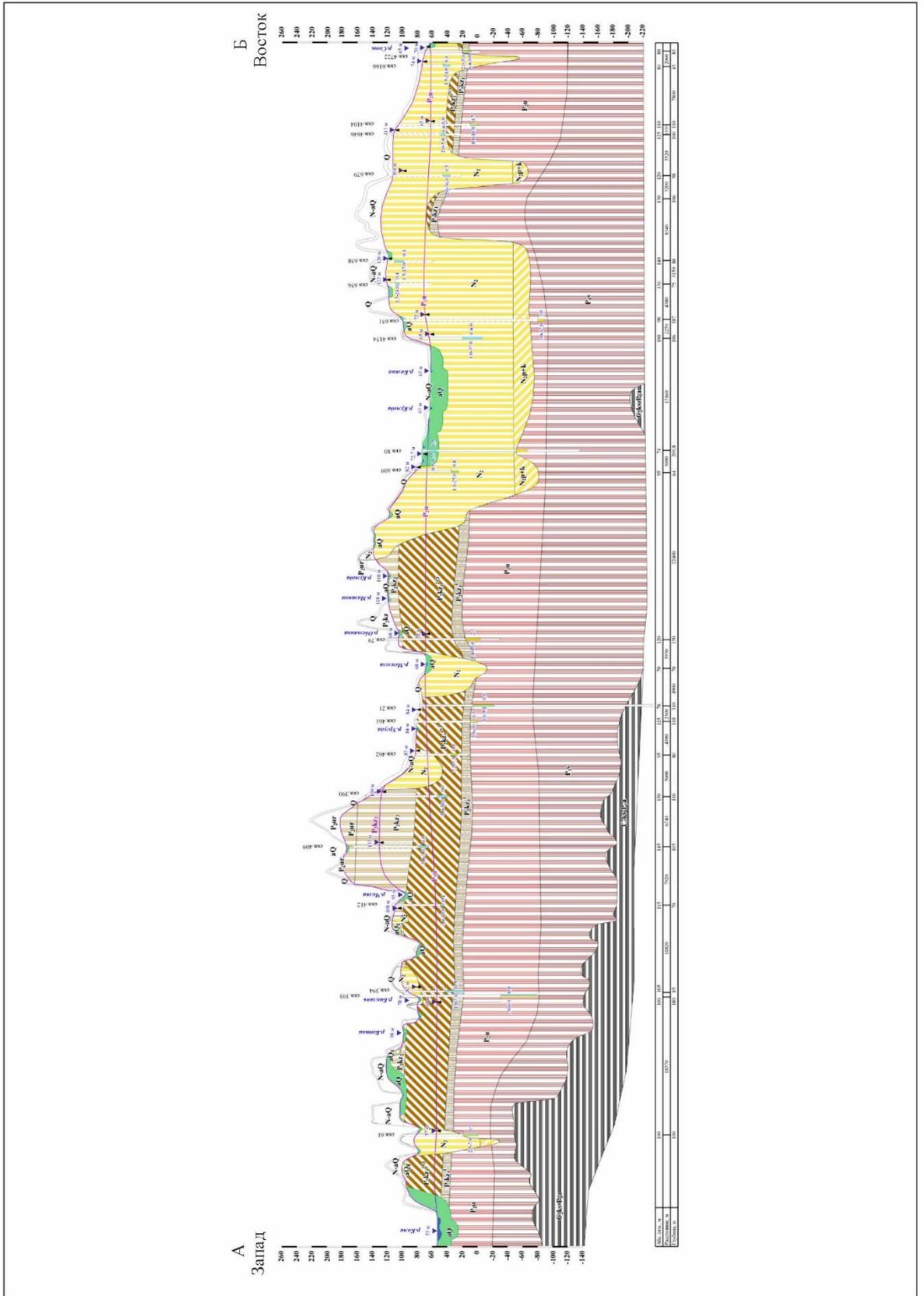


Рисунок 2.10. Гидрогеологический разрез по линии А – Б (линия разреза показан на рисунке 2.8)

На изучаемой территории в пределах эрозионно - денудационного рельефа выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

1. Проницаемый неводоносный слободской комплекс;
2. Проницаемая локально-водоносная уржумская карбонатно-терригенная свита;
3. Водоносная верхнеказанская карбонатно-терригенная свита;
4. Водоносная нижнеказанская карбонатно-терригенная свита;
5. Водоносный шешминский терригенный комплекс;
6. Водоносная стерлитамакско-соликамская сульфатно-карбонатная серия.

Проницаемый неводоносный слободской комплекс. Распространен в пределах останцев на водоразделах южной части территории. Представлен трещиноватыми песчаниками, глинами, алевролитами, гипсами и известняками. Не является водоносным из-за высокого залегания и отсутствия водоупоров.

Проницаемая локально-водоносная уржумская карбонатно-терригенная свита. На большей части территории является первым от поверхности водоносным горизонтом. Распространена в основном в пределах водоразделов и имеет инфильтрационный тип питания с разгрузкой в виде родников или перетоков в нижележащие горизонты. Мощность водосодержащих пород находится в пределах 0,5–9,9 м. Тип водоносного горизонта - безнапорно-субнапорный. Величины напоров находятся в интервале от 0,0 до 15,0 м. Химический состав вод: гидрокарбонатный кальциевый, кальциево-магниевый, смешанный. Коэффициенты фильтрации составляют 0,24–1,2 м/сут.

Водоносная верхнеказанская карбонатно-терригенная свита. Водовмещающими являются трещиноватые песчаники, алевролиты, глины, мергели, известняки. Распространена в пределах водоразделов и склоны долин, часто перекрыта уржумской свитой. Разгрузка осуществляется в палеоврезы, долины рек, ручьев или путем перетока в нижнеказанский комплекс. Коэффициенты фильтрации: 1,4–3,8 м/сут. Химический состав вод: гидрокарбонатный кальциевый, магниевый-кальциевый, смешанный, минерализация 0,2–1,0 г/дм³.

Водоносная нижнеказанская карбонатно-терригенная свита. Слагается отложениями лагунно-морских и прибрежно-континентальных фаций (трещиноватые пески, алевролиты, мергели, известняки). В качестве водоупоров выступают плотные глины и алевролиты. Выходит, на поверхность по долинам крупных рек, перекрыта верхнеказанской свитой на большей части территории. Тип водоносного горизонта: безнапорно-напорный, с возрастанием напора с глубиной. Уклоны потока: 0,003–0,1. Коэффициенты фильтрации: 1,1–46,7 м/сут. Химический состав вод: гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, кальциевый-магниевый, реже смешанный, минерализация 3,5–4,3 г/дм³.

Водоносный шешминский терригенный комплекс. Представлен песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинами. Встречаются прослои известняков и доломитов. Мощность свиты доходит до 62 м. Коэффициенты фильтрации находятся в диапазоне от 1,6 до 23,0 м/сут. Состав вод сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатный, магниевый-кальциевый, кальциевый-натриевый.

Водоносная стерлитамакско-соликамская сульфатно-карбонатная серия.

Имеет повсеместное распространение. Водовмещающими породами являются неоднородные прослойки и линзы карбонатных и реже сульфатных пород. Воды комплекса напорные, напор составляет до 200 м. Уклоны потока 0,00008–0,007. Состав вод преимущественно сульфатный натриево-кальциевый, кальциевый-натриевый с минерализацией от 1,5 до 3,5 г/дм³. Коэффициенты фильтрации 0,2–37,2 м/сут [23].

2.4. Тектоника и неотектоника

В новейшей структуре территории юго-востока Татарстана нашли выражение такие крупнейшие элементы Волго-Уральской антеклизы, как Татарский свод и Верхнекамская впадина (Рисунок 2.11). В рельефе им соответствуют Бугульминско-Белебеевская возвышенность и Камско-Бельская низменность.

Обе эти формы рельефа были созданы в неоген-четвертичное время в результате положительных неотектонических движений и экзогенных рельефообразующих процессов. Бугульминско-Белебеевская возвышенность образовалась на участке Альметьевского выступа Татарского свода, который в неотектонический период испытал поднятие с суммарной амплитудой до 550 метров. Камско-Бельская низменность сформировалась в западной части Верхнекамской впадины и Сарайлинского прогиба, где амплитуды неотектонических поднятий были меньше (до 200 метров). Современный структурный план юго-востока Татарстана и всей территории РТ, который вобрал в себя все разнообразие тектонических движений предшествующих эпох, сформировался в альпийский цикл тектогенеза [37].

Геологические и геоморфологические исследования свидетельствуют о значительной неотектонической активности региона. Данная активность проявляется в специфике стратиграфии четвертичных и неогеновых отложений, а также в наличии характерных индикаторов деформации литологических массивов, зон повышенной трещиноватости и эрозионных врезов. Территория характеризуется присутствием дифференцированных по масштабу положительных тектонических структур.

Структуры, сформировавшиеся на платформенной стадии развития, в видоизмененном виде продолжали существовать на протяжении неотектонического этапа.



Рисунок 2.11. Карта неотектонических движений (вырезка с карты новейшей тектонической структуры территории РТ Масштаб: 1:200000 (А – Татарский свод; Б – Верхнекамская впадина). составлена: ГУП «НПО ГЕОЦЕНТР РТ»

Цикличность строения неогеновых и четвертичных отложений свидетельствует о многократных эпейрогенических движениях различной продолжительности. Однако, знак преобладающих движений меняется: в миоцене наблюдается поднятие, в плиоцене – опускание, а в эоплейстоцене и неоплейстоцене – новые поднятия.

Татарский свод (А) – граница свода проводится по изогипсе амплитуд новейших движений 300 метров и в пределах территории исследований полностью совпадает с контурами фундамента, находя в рельефе поверхности его прямое выражение. Как новейшая структурная форма, Татарский свод сформировался в структурном плане территории в конце олигоценовой и начале миоценовой эпох. С этого времени он начал оказывать значительное влияние на формирование современного рельефа и осадконакопление. В настоящее время свод дифференцирован на несколько новейших структурных форм третьего порядка.

Верхнекамская впадина (Б) – это крупнейшая отрицательная форма рельефа Волжско-Камской антеклизы, которая ограничивает с северо-востока Татарский свод и охватывает нижние течения рек Камы и Белой. В пределах Татарстана находится лишь крайняя юго-западная часть этой депрессии. На карте новейшей тектоники она выделяется по изолинии 280 метров. Максимальные амплитуды на исследуемой территории составляют 170–180 метров. Граница впадины фиксируется глубокими разрывными нарушениями, которые выражены в новейшем структурном плане аномальным сгущением изолиний. В осадочном чехле ей соответствует моноклиналиное залегание слоев, падающих на восток. Фундамент ступенчато погружается в том же направлении. Разнообразие движений в новейший этап развития привело к возникновению в пределах этой впадины, вблизи границы с Татарским сводом, более мелких структурных форм. На территории исследований выделяются Иркеньш-Баюковский вал и Топасевская брахиантиклинальная складка.

2.5. Инженерно-геологические процессы

Территория юго-востока Татарстана характеризуется своеобразием развития современных экзогенных геологических процессов и геодинамических явлений, основными из которых являются овражная эрозия, оползни, карст, и суффозия [119, 159, 164].

Овражная эрозия. Бугульминско-Белебеевской возвышенности характеризуются значительной степенью овражно-балочной расчлененности, которая варьирует в среднем 0,1–0,7 км/км², формированию которой способствовало обилие крутых и высоких склонов. Менее изрезанной оказалась Камско-Бельская низина в пределах 0,025–0,2 км/км². Средняя густота для сей рассматриваемой территории составляет 0,54 км/км². Овражная эрозия наиболее активно развивается в средней части приводораздельных склонов. Наибольшее развитие получили овраги в четвертичных суглинках, однако встречаются и процессы овражной эрозии по пермским отложениям (рисунок 2.12).



Овражная эрозия по четвертичным отложениям

Овражная эрозия по пермским отложениям

Рисунок 2.12. Процессы овражной эрозии на территории Восточного Закамья

Оползневые процессы. Оползни приурочены в основном к крутым склонам речных долин северной-восточной экспозиции [82]. Наиболее масштабные оползни зафиксированы на левом берегу долины р. Бавлы у восточной окраины г. Бавлы, так же наблюдаются оползневые процессы по берегам р. Шешма. По возрасту выделяются два типа оползней: молодые и старые (Рисунок 2.13).



Молодые оползневые процессы

Древние оползневые процессы

Рис.2.13. Оползневые процессы на территории Восточного Закамья

Молодые оползни наиболее подвижны и имеют хорошо выраженные оползневые элементы (обнаженные стенки срыва, массу свежих обрушений, трещин и т.д.). Среди них преобладают оползни-сдвига, на долю которых приходится 37,6 %. Чуть реже, чем оползни-сдвига, встречаются оползни-оплывины – 16,4 %. Размеры оползней могут быть различными – от небольших длиной не более 20 м, до крупных, длина которых может достигать 80 м.

Как правило, наиболее крупные размеры имеют старые оползни, наблюдающиеся на склонах с уклонами от 7 до 32 градусов.

Наибольший интерес для диссертационного исследования представляют *суффозионные и карстово-суффозионные процессы*. В современной физико-геологической и геологической обстановке образование поверхностных форм карста связано с нисходящими токами подземных вод и вымыванием песчано-глинистых пород верхнепермских, неогеновых и четвертичных отложений в нижележащие закарстованные горизонты сакмарского яруса [63, 64, 65].

Описание рельефа междуречья Мензеля и Мелля ярко демонстрирует динамику карстовых процессов. Преобладание древних и современных старых провальных форм в центральной части, известной как Рангазарский участок Мензеля-Шешминского карстового района, указывает на длительную историю развития карста.

Внушительные размеры карстовых форм – до 60–100 м в диаметре и 16–20 м глубиной – подчеркивают масштаб этих процессов. Интересно разнообразие форм: от блюдцеобразных и чашевидных до конических [82].

Примеры крупных карстовых провалов в бассейнах реки Степной Зай, таких как Акташский провал (образовавшийся в 1939 г) глубиной 40 м и диаметром 50 м, наглядно иллюстрируют активность карстовых процессов.

Описание древних блюдцеобразных воронок в окрестностях Альметьевска дополняет общую картину, показывая, что карстовые процессы влияли на формирование рельефа на протяжении длительного времени.

Широкое распространение карста в долине реки Ик и её притоков (Стерля, Бавлинка, Ютаза, Дымка, Усень и др.), где карстующимся субстратом являются преимущественно гипсы уфимского яруса, объясняет обилие карстовых форм (рисунок 2.14).

Преобладание молодых, чашевидных воронок диаметром от 2 до 30 м и глубиной от 0,5 до 3,5 м указывает на активные процессы карстообразования в настоящее время. Формирование карстового пояса длиной более 20 км и шириной 2–6 км вдоль террас подчеркивает масштабность этих процессов. Наличие свежих провалов служит дополнительным подтверждением интенсивности карстовых явлений.



Карстово-суффозионный провал у п. Калейкино (бассейн р. Степной Зай) Альметьевский район



Карстово-суффозионный провал у п. Кзыл-Яр (бассейн р. Ик) Бавлинский район

Рисунок 2.14. Карстово-суффозионные формы рельефа на изучаемой территории

К древним понижениям приурочены озера, размеры которых в плане достигают 100 м. Известна информация и некоторых карстовых пещерах, таких как Новая, Ледяная и Водная с протяжённостью до 120 м.

Наблюдения показывают, что на исследуемой территории распространены преимущественно суффозионные формы рельефа (рисунок 2.15). Особенно часто они встречаются на участках эрозионно-денудационного рельефа водораздельных, приводораздельных частей склонов.



Суффозионные воронки на эрозионно-денудационных поверхностях водоразделов (п. Кудашево Бугульминский район)



Суффозионные воронки на эрозионно-денудационных поверхностях приводораздельных частей склонов (п. Карамалы Азнакаевский район)

Рисунок 2.15. Суффозионные формы рельефа на изучаемой территории

На рисунке 2.16 приведены карстово-суффозионные формы, расположенные на территории Камско-Бельской низменности.



Карстово-суффозионная воронка у п.Русский Шуган Муслюмовский район



Карстово-суффозионная воронка у п.Покровка Муслюмовский район



Карстово-суффозионная воронка у п.Старая Матвеевка Мензелинский район



Карстово-суффозионная воронка у п.Старое Сафарово Актанышский район



Карстово-суффозионная воронка у п.Тегермянче Мензелинский район



Карстово-суффозионная воронка у п.Усы Акташский район

Рисунок 2.16. Карстово-суффозионные воронки на эрозионных поверхностях средней части склонов Камско-Бельской низменности

2.6. Инженерно-геологическое районирование

Как было отмечено ранее, на сегодняшний день территория Восточного Закамья остается малоизученной с точки зрения системных инженерно-геологических исследований. Инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200 000 проводилась лишь для северной части территории (города Нижнекамск, Набережные Челны, Мензелинск) в период 1981–1990 гг.

А.П. Дедковым в 1999 году была составлена схема геоморфологического районирования, в соответствии с которой территория Республики Татарстан была разделена на денудационные равнины с различной степенью расчленения, от очень слабой до глубокой. На территории Восточного Закамья были выделены 10 районов, показанных на рисунке 2.17. Масштаб исследования не позволяет использовать эту схему для инженерно-геологических задач.



Рисунок 2.17. Схема геоморфологического районирования РТ (А.П. Дедков, 1999)

В 2022–2023 гг. А.И. Латыповым, А.Н. Гараевой и Э.А. Королевым на основании данных о геоморфологическом строении территории, тектонических условий, изложенных в п. 2.1, 2.3 соответственно, был выполнен специальный геоморфологический анализ территории юго-востока Татарстана, в результате которого была составлена карта масштаба 1:100 000 в программном обеспечении ArcGIS (рисунок 2.18).

На основании вышеприведенной гипсометрической карты (рисунок 2.2) были выделены две области: Камско-Бельская низменность и Бугульмино-Белебеевская возвышенность, а также районы: эрозионно-аккумулятивные, эрозионно-денудационные приводораздельные и эрозионно-денудационные водораздельные.

На водораздельных участках были околонтурены все три регионально развитые в Закамье ступени рельефа – верхнее, среднее и нижнее плато (поверхности выравнивания).

Наиболее современные и детальные работы по картированию исследуемой территории проводились Государственным унитарным предприятием Научно-производственным объединением «Геоцентр РТ» (ГУП НПО «Геоцентр РТ») в начале двухтысячных годов. Итогом работы стала серия карт, например, карта распространения четвертичных и элювиально-делювиальных отложений на территории Республики Татарстан масштаба 1:200 000 (рисунок 2.19).

Авторы разграничили зоны распространения четвертичных отложений (зеленый цвет на рисунке 2.19) и участки либо их отсутствия, либо выхода на поверхность маломощного чехла (до 2 метров) элювиальных и делювиальных отложений (белый цвет на рисунке 2.19). Такое разделение является, во-первых, слишком упрощенным и не учитывает никакого разнообразия грунтов, во-вторых – не учитывает известных аспектов геоморфологического строения территории, таких, как платообразное строение, расчлененность речными долинами и т.п.

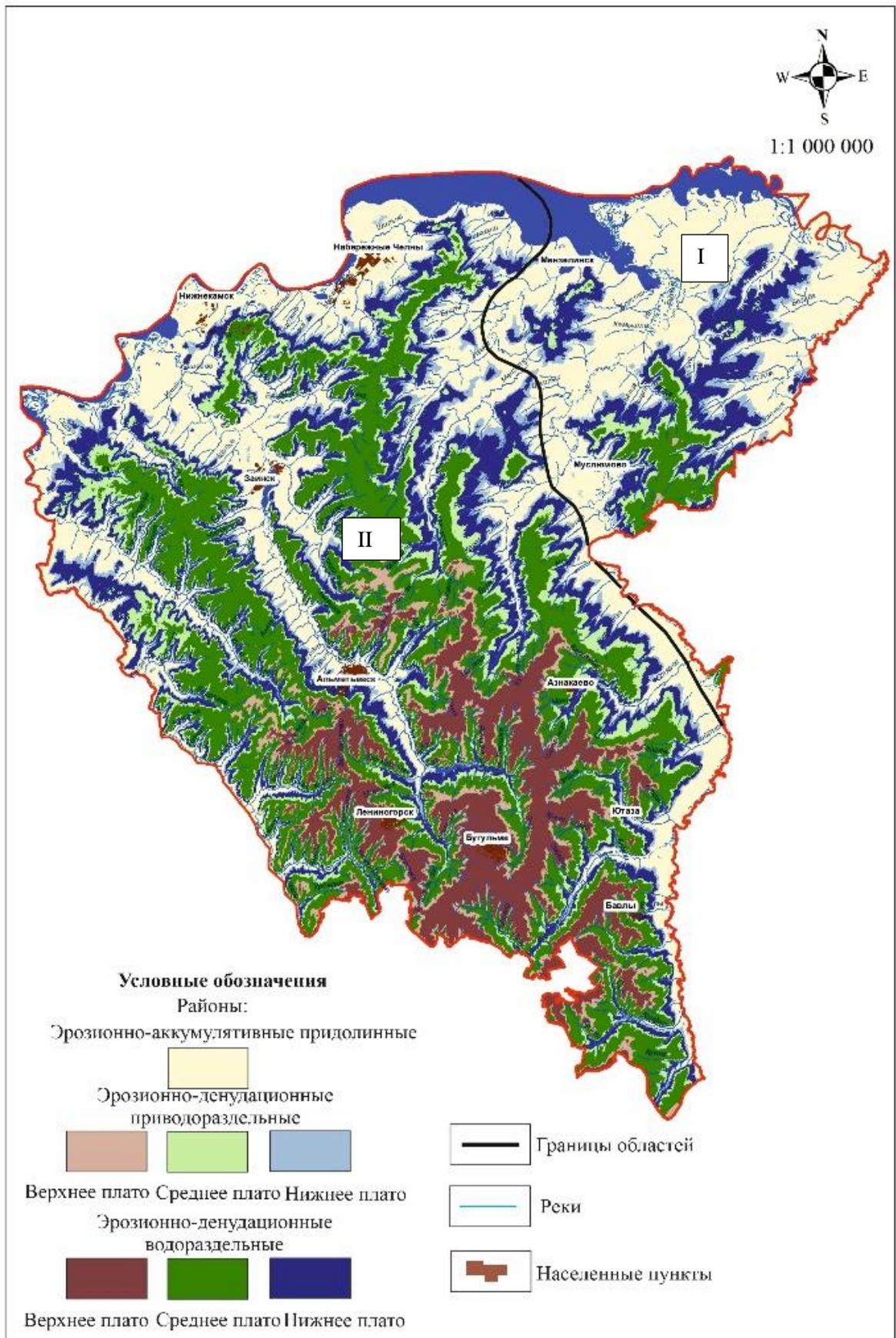


Рисунок 2.18. Карта геоморфологического районирования
 Авторы: Латыпов А.И., Гараева А.Н., Э.А. Королев

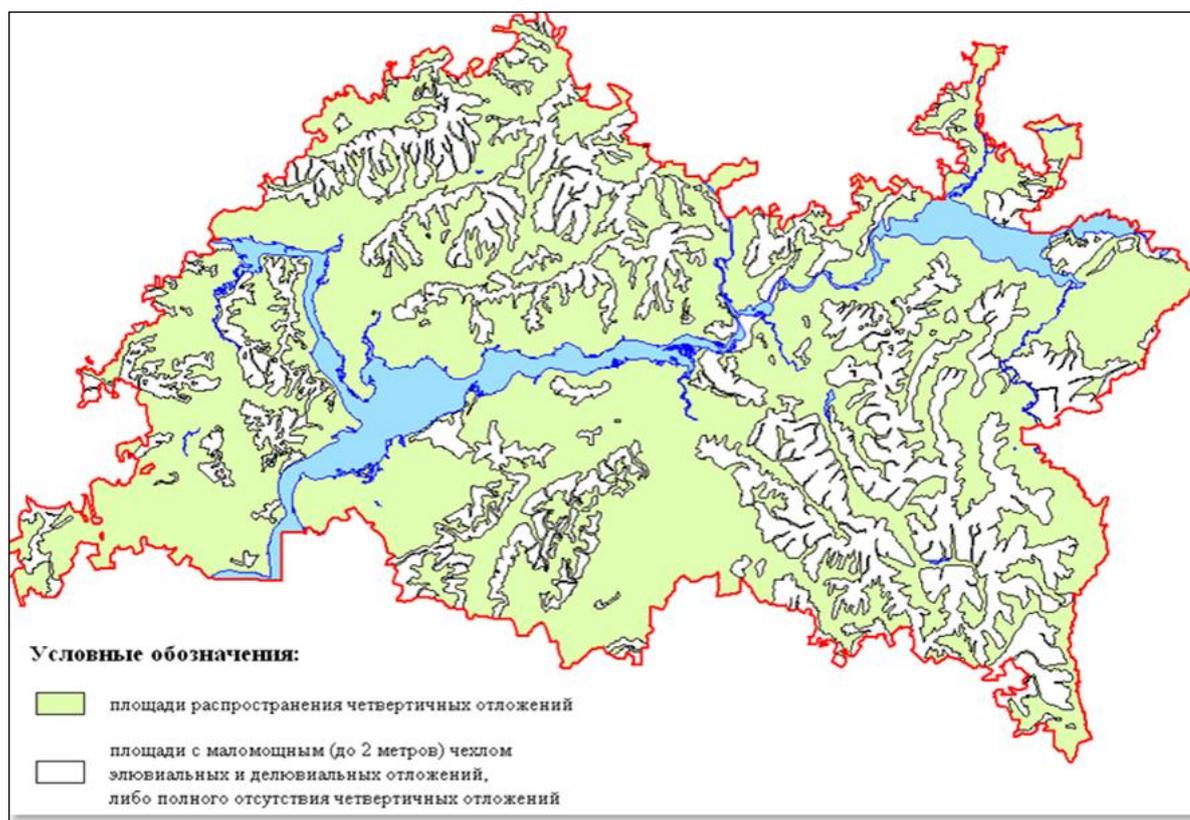


Рисунок 2.19. Карта распространения четвертичных и элювиальных - делювиальных отложений на территории Республики Татарстан 1:200 000

Составлена: ГУП «НПО Геоцентр РТ»

В рамках диссертационного исследования было выполнено маршрутное обследование территории с описанием 1106 точек наблюдения (рисунок 2.20), в качестве которых использовались карьеры, обнажения, строительные площадки, шурфы и закопушки, а также горные выработки (инженерно-геологические скважины). В каждой точке наблюдения был оформлен паспорт с информацией о геологическом строении с выделением литотипов грунтов и зон дезинтеграции, описанием структурно-текстурных особенностей грунтов и грунтовых массивов, выходах грунтовых вод (положении их уровня) [85]. Пример паспорта точки наблюдения показан на рисунок 2.21. Для лабораторных исследований были отобраны образцы нарушенного и ненарушенного сложения.

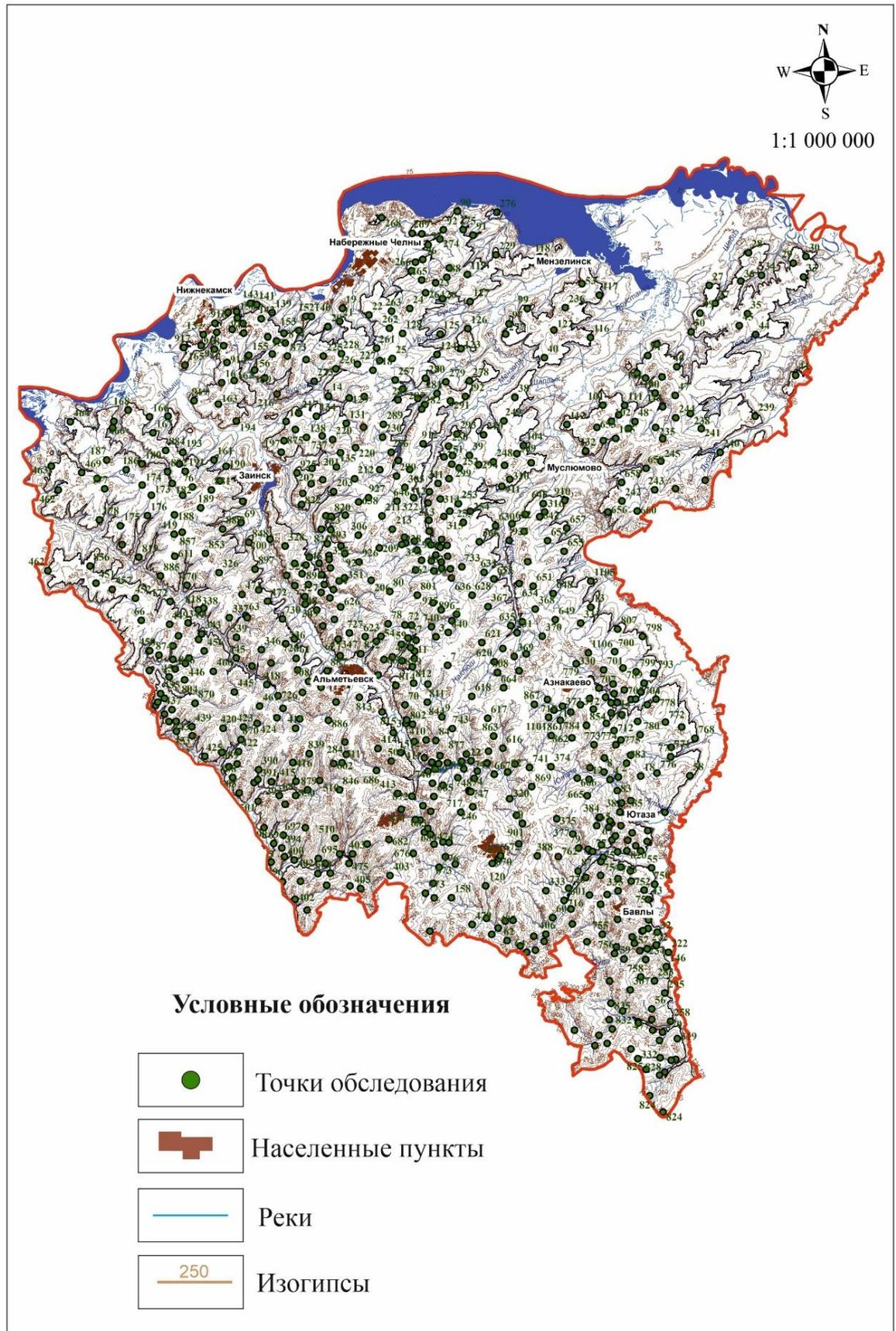


Рисунок 2.20. Карта фактического материала с точками наблюдения
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

Паспорт точки наблюдения № 105			
Географич. координаты:	Пространственная привязка	А.о., м	Геоморфологические условия
54°43' с.ш. 52°36'20" в.д.	Карьер расположен в 2,5 км к северо-востоку от р.п.Карабаш, на землях совхоза "Карабашский".	290	Денудационная терраса правого берегового склона долины р.Зай. Поверхность месторождения ровная с незначительными колебаниями высот порядка 1,0-1,5 м. Верхнее плато Бугульмино-Белебеевской возвышенности.
Геологич. строение	Четв. отл.	-	Гидрогеологические условия
	Дочетв. отл.	P ₂ ur	Выход г.в -отсутствует
Строение профиля выветривания			
Зона А	Песчаник красновато-коричневый верхнепермский элювиальный тонко и мелкозернистый, на глинистом цементе, слабый, выветрелый до состояния песка. Мощность слоя 0,5-1,0 м.		
Зона Б	Песчаник верхнепермский, элювиальный, красновато-коричневый, тонко- и мелкозернистый, слабый, разрушенный выветриванием, без четко выраженных границ зон разрушения, слабощементированный с прослойками средней крепости и крепкого песчаника. Мощность линз и прослоев изменяется от 0,2 до 0,5 м. Наиболее интенсивно выветрелые породы отмечены в кровле до состояния песка средней плотности. Песчаник разбит вертикальными трещинами на блоки, с шириной раскрытия до 0,5 см, протяженностью на всю мощность. Песчаник косослоистый на карбонатно-глинистом цементе. Мощность слоя 3,0-3,5 м.		
Зона В	Песчаник верхнепермский, элювиальный, граувакковый, мелкозернистый, известковистый, слабо глинистый, средней плотности, со слоистой текстурой серо-фиолетовый. Мощность слоя 0,5-0,8 м.		
Зона Г	-		

Рисунок 2.21. Пример паспорта точки наблюдения

Одной из целей данного этапа исследований стало составление карты инженерно-геологического районирования (рисунок 2.22) как результата выявления в пространстве на основе совокупности теоретических положений и методических приемов объективно существующих территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками

отграничения их от территорий, этими признаками не обладающих, их картографирования и описания (Трофимов, 1979).

Масштаб исследования, характер изученности и сложность изучаемой структуры для исследуемой территории подразумевал региональный тип районирования с выделением всех таксонометрических единиц от области до инженерно-геологического подрайона включительно.

Районируемая территория Восточного Закамья рассматривалась как часть региона первого порядка – Русской платформы [160, 161]. В соответствии с систематикой таксонометрических единиц, предложенной В.Т. Трофимовым, отнесена к провинции распространения пород с жесткими связями и пород без жестких связей в пределах континентальной части, подпровинции преимущественного распространения пород без жестких связей, зоне распространения талых пород, подзоне распространения слабо и умеренно влажных пород [161].

При выделении инженерно-геологических областей первого порядка учитывались прежде всего история геологического развития территории за новейший этап, характер неотектонических движений, особенности рельефа и геологическое строение поверхностной толщи [161]. Поэтому в качестве областей первого порядка были выбраны геоморфологические структуры:

I - КАМСКО-БЕЛЬСКАЯ НИЗМЕННОСТЬ

II - БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ.

Выделение такой таксонометрической единицы как район было основано на принадлежности к определенному типу рельефа, обуславливающего в том числе общие признаки геологического строения без учета многих частных особенностей. В связи с этим на исследуемой территории выделены следующие районы:

A - эрозионно-аккумулятивные придолинные,

Б - эрозионно-денудационные приводораздельные,

В - эрозионно-денудационные водораздельные.

А. Эрозионно-аккумулятивные придолинные районы

Этот уровень рельефа образуют первые и вторые надпойменные террасы верхнеплейстоценового возраста, а также поймы долин средних и крупных рек и нерасчлененные поверхности поймы и первой надпойменной террасы в долинах малых рек [82]. Они развиты более или менее крупными фрагментами во всех долинах крупных рек (Ик), средних (Зай, Степной Зай, Шешма, Мелля, Мензеля) и многих малых рек [23]. В один уровень они объединены, т.к. их абсолютные и относительные высоты близки между собой, переходы слабо выражены, особенно в долинах средних рек, где они наиболее широко распространены. Ширина нерасчлененных террас в этих долинах от 200–500 м до 3–5 км в низовьях [82]. Относительные высоты первой террасы в зависимости от размера долины колеблются от 2,5–3,0 м до 5,5–6,5 м. Высоты второй надпойменной террасы колеблются более значительно – от 7 м до 15 м.

В соответствии с геологическим строением слагающих и подстилающих пород район разбит на два подрайона:

1) пойменно-русловой аккумулятивный. Представлен современными аллювиальными образованиями пойм и русел всех рек района (абс. высоты 43–85 м). Общая мощность аллювия крупных рек колеблется от 10 до 25 м, средних и малых – от 7 до 16 м. Представлен песками, суглинками и линзами глин, в основании – галечниками. Подстилающие горные породы – пески и глины четвертичного и неогенового возраста с линзами гравия и гальки [23];

2) поверхности и примыкающие к ним склоны речных террас разной крутизны (абс. высоты 85–120 м). В геологическом строении принимают участие аллювиально-делювиальные отложения террас крупных рек или нижние части склонов вдоль террас малых рек [23]. Состав и строение отложений зависит от строения склона, его крутизны и высоты, но, как правило, это блоки, глыбы и обломки коренных пород, смятые, перемещенные вниз, перемешанные со щебнисто-суглинистым материалом четвертичного возраста. Подстилающие породы — преимущественно казанского яруса (песчаники, глины, алевролиты,

аргиллиты, реже известняки) и частично отложения уфимского яруса (доломиты, мергели, глины с прослоями песчаников [82].

Б. Эрозионно-денудационные водораздельные районы

Данный вид рельефа располагается ниже водораздельных поверхностей. Приводораздельные районы верхнего, среднего и нижнего плато сложены преимущественно элювиально-делювиальными отложениями, а склонов, разделяющих нижнее плато и аккумулятивные склоны речных долин, – пролювиально-делювиальными. Состав элювиально-делювиальных образований в значительной мере определяется свойствами подстилающих пород. Строение их весьма сложное, что обусловлено литологическими особенностями слагающих их пород. Пологие склоны сложены суглинками, супесями и слабо уплотнёнными пылеватыми песками [82]. Углы наклона склонов изменяются от 30 до 15°. На крутых слабо задернованных склонах часто наблюдается ступенчатость, что обусловлено выходами карбонатных пород. Мощность таких образований чаще всего составляет 3,0–5,0 м, иногда может увеличиваться до 10–15 м. Вверх по склону мощность их сокращается до 2,0–3,0 м. Пролувиально-делювиальные отложения образованы за счет течения и сноса в перигляциальных условиях мелкообломочного и глинистого материала и накопления его в пониженных частях. Подстилающие породы – карбонатно-глинистые отложения казанского яруса (переслаивающиеся известняки, песчаники, глины, мергели, доломиты и алевролиты) [82].

В соответствии с гипсометрическими уровнями этот район разделен на три подрайона для области Бугульминско-Белебеевской возвышенности и два подрайона для области Камско-Бельской низменности. Подробное описание подрайонов приведено на рисунке 2.23.

В. Эрозионно-денудационные водораздельные районы

Водоразделы изучаемой территории сложены преимущественно элювиальными отложениями с разной мощностью распространения. Наименьшие мощности, не превышающие обычно первых метров, характерны для элювиальных отложений, развитых на высоких водоразделах (верхнее плато)

с абс. высотами 280–376 м. Водоразделы плоские, слабо всхолмленные или плосковыпуклые. Наибольшая мощность элювиальных отложений наблюдается на низких водоразделах (нижнее плато) с мощностью от 0,5 до 10 м. Абсолютные высоты плато находятся в пределах 140–190 м. Подстилающие породы — преимущественно казанского яруса и частично на высоких водоразделах уржумского яруса.

В соответствии с гипсометрическими уровнями этот район разделен на три подрайона для области Бугульминско-Белебеевской возвышенности (верхнее, среднее и нижнее плато) и два подрайона для области Камско-Бельской низменности (среднее и нижнее плато).

Верхнее плато сложено преимущественно прочными светло-серыми доломитами с прослойками красно-бурых и зеленовато-серых доломитовых мергелей биармийского отдела пермской системы. Большинство располагающихся здесь вершин эрозионно-денудационных холмов бронированы плотными карбонатами. Поверхность среднего плато слагают преимущественно морские песчаники и доломиты с прослойками глин и доломитовых мергелей, нижнего — в основном глины и песчаники. Области преимущественного распространения тех или иных литологических разновидностей осадочных пород определили особенности регионального районирования территории возвышенности по типу гипергенных преобразований.

Таким образом, в пределах Восточного Закамья четко обозначились территории со своими особенностями протекания гипергенных процессов преобразования осадочных пород среднепермского возраста. В центральной части на площадке верхнего плато распространен преимущественно элювий по карбонатным породам, на площадке среднего плато — карбонатно-терригенный тип элювия, на площадке нижнего плато — терригенный. Подобная закономерность проявления гипергенных процессов обусловлена преобладающими литотипами осадочных пород, слагающих участки верхнего, среднего и нижнего плато [82].

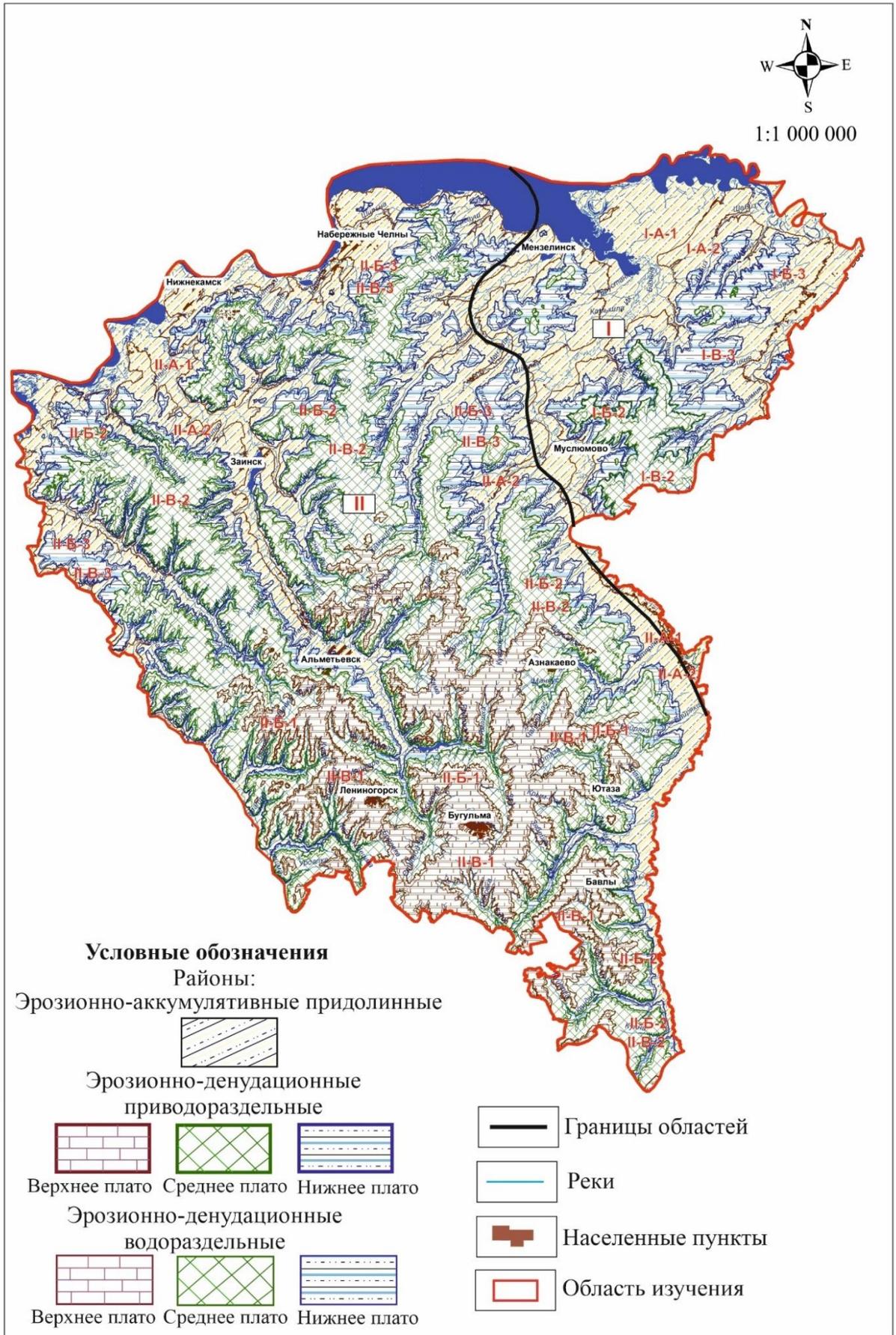
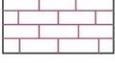
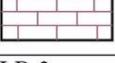
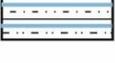


Рисунок 2.22. Карта инженерно-геологического районирования
 Авторы: Латыпов А.И., Гараева А.Н.

Области	Районы	Подрайоны	Индекс на карте
КАМСКО-БЕЛЬСКАЯ НИЗМЕННОСТЬ	Эрозионно-аккумулятивные придолинные	Пойменно-русловой аккумулятивный (абс. высоты 43-85 м), сложенный современным аллювием, подстилаемым породами четвертичного и неогенового возраста.	I-A-1 
		Поверхности и примыкающие к ним склоны речных террас разной крутизны (абс. высоты 85-120 м), сложенные аллювиально-делювиальными отложениями, подстилаемыми преимущественно пермскими породами казанского уфимского ярусов.	I-A-2 
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Денудационные склоны, разделяющие среднее и нижнее плато, сложенные элювиально-делювиальными отложениями по карбонатным и терригенным породам преимущественно казанского яруса.	I-B-2 
		Денудационные склоны, разделяющие нижнее плато и аккумулятивные склоны речных долин (абс. высоты 120-140 м), сложенные пролювиально-делювиальными отложениями, подстилаемыми породами четвертичного и неогенового возраста.	I-B-3 
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Среднее плато (абс. высоты 200-250 м), сложенное элювиальными отложениями по пермским карбонатным и терригенным породам казанского и уржумского (на высоких частях) ярусов.	I-B-2 
		Нижнее плато (абс. высоты 140-180 м), сложенное элювиальными отложениями по терригенным породам казанского яруса.	I-B-3 
БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕВСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ	Эрозионно-аккумулятивные придолинные	Пойменно-русловой аккумулятивный (абс. высоты 75-100 м), сложенный современным аллювием, подстилаемым породами четвертичного и неогенового возраста.	II-A-1 
		Поверхности и примыкающие к ним склоны речных террас разной крутизны (абс. высоты 100-120 м), сложенные аллювиально-делювиальными отложениями, подстилаемыми преимущественно пермскими породами казанского уфимского ярусов	II-A-2 
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Денудационные склоны, разделяющие верхнее и среднее плато, сложенные элювиально-делювиальными отложениями по пермским карбонатным породам преимущественно казанского яруса	II-B-1 
		Денудационные склоны, разделяющие среднее и нижнее плато, сложенные элювиально-делювиальными отложениями по пермским карбонатным и терригенным породам преимущественно казанского яруса.	II-B-2 
		Денудационные склоны, разделяющие нижнее плато и аккумулятивные части речных долин, сложенные пролювиально-делювиальными отложениями, подстилаемыми породами четвертичного и неогенового возраста.	II-B-3 
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Верхнее плато (абс. высоты 280-375 м), сложенное элювием по пермским карбонатным породам преимущественно уржумского яруса.	II-B-1 
		Среднее плато (абс. высоты 200-260 м), сложенное элювием по карбонатным и терригенным породам преимущественно казанского и уржумского (на высоких частях) ярусов.	II-B-2 
		Нижнее плато (абс. высоты 140-190 м), сложенное элювием по терригенным породам казанского яруса.	II-B-3 

Прочие условные обозначения

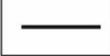
	Границы областей		Границы подрайонов		Область изучения
	Границы районов		Реки		Населенные пункты

Рисунок 2.23. Условные обозначения к карте инженерно-геологического районирования

Выводы по второй главе

1. В современном рельефе на территории Восточного Закамья выделяются две крупные морфологические структуры Бугульминско-Белебеевская возвышенность, занимающая основную и западную части, и Камско-Бельская низменность, расположенная на северо-востоке. Обе они созданы в неоген-четвертичное время положительными неотектоническими движениями и экзогенными рельефообразующими процессами.

2. В тектоническом плане территория приурочена к Южно-Татарскому своду, который прослеживается как положительная структура по кровле всех стратиграфических подразделений, начиная с поверхности кристаллического фундамента. Тектонические поднятия территории способствовали заложению в неогене узких протяженных речных долин Шешмы, Зай, Мензеля, Кучмы и др., впадающих в р. Каму и по пути следования пересекающих поверхности верхнего, среднего и нижнего плато Восточного Закамья [199].

3. В процессе инженерно-геологического районирования территории были выделены две области: Камско-Бельская низменность и Бугульмино-Белебеевская возвышенность, три вида районов: эрозионно-аккумулятивные придолинные, эрозионно-денудационные водораздельные и эрозионно-денудационные водораздельные, в дальнейшем разделенных на подрайоны верхнего, среднего и нижнего плато, денудационных склонов, поверхностей и примыкающих к ним склонов речных террас [82].

4. Широкое распространение на территории Восточного Закамья элювиальных грунтов предопределило развитие таких опасных инженерно-геологических процессов, как карст и суффозия. Несмотря на высокую степень пораженности территории карстово-суффозионными формами рельефа на настоящий момент исследуемая территория является плохо изученной в плане развития опасных инженерно-геологических процессов.

ГЛАВА 3. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

3.1. Факторы формирования и пространственное распространение терригенных элювиальных грунтов

При выполнении инженерно-геологического районирования было установлено, что в пределах территории Восточного Закамья элювиальные терригенные грунты имеют широкое распространение, повсеместно покрывают водораздельные пространства на среднем и нижнем плато и практически не встречаются на участке верхнего плато. При этом мощность элювия по терригенным породам увеличивается с понижением абсолютных высот, достигая значения 10 м в северном направлении в сторону р. Кама, на западе в сторону долины р. Шешма, на востоке в сторону р. Ик (Рисунок 3.1).

Участок среднего плато отнесен к смешанному типу распространения элювиальных пород с преобладанием элювия по морским песчаникам казанского яруса, что обусловлено лучшей проницаемостью пород для поверхностных атмосферных вод и наличием в них нестойкого к растворению кальцитового цемента [28].

На поверхности нижнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности и Камско-Бельской низменности гипергенным процессам подвергаются глинистые породы уржумского яруса.

На водоразделах нижней денудационной поверхности с абсолютными отметками 140–190 м, приближенных к долинам основных рек Кама, Ик, Степной Зай, Шешма, мощность терригенного элювия достигает 8 м. Поверхность водораздела сильно расчленена малыми реками, ручьями, балками, оврагами, что способствовало развитию большой мощности элювия. На поверхности эрозионно-денудационно-приводораздельного склона между нижним плато и средним мощность изменяется от 5,5–8,0 м. Однако на некоторых участках уступ подвергается разрушению под воздействием природных факторов.

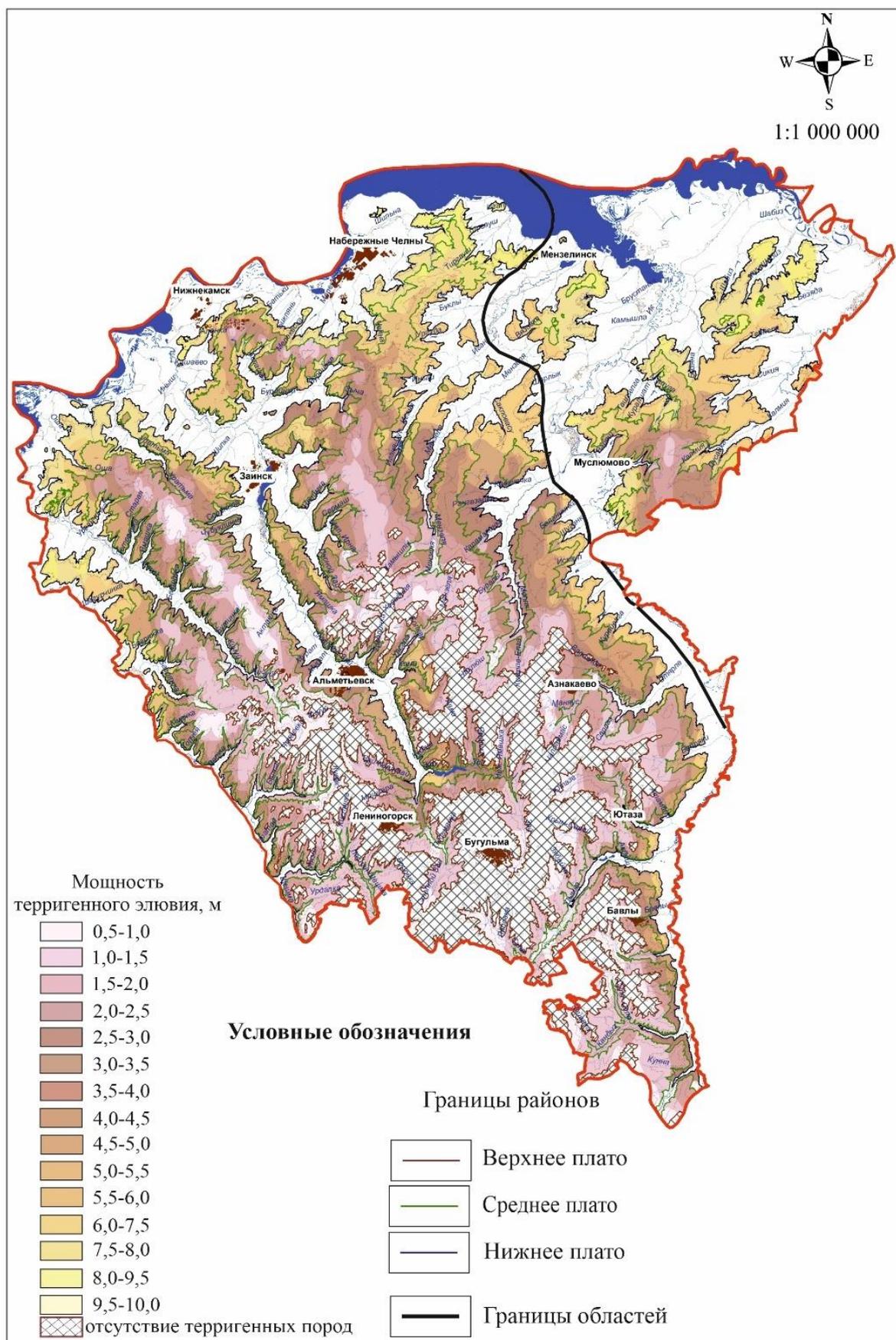


Рисунок 3.1. Карта мощности элювия по терригенным породам
Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

В результате в осевых частях водоразделов формируется поверхность снижения, где мощность элювиальных отложений, то есть тех, что образовались на месте коренных пород, на склонах увеличивается до 6,5–8 метров.

В пределах средней денудационной поверхности мощность элювия изменяется в пределах от 1,0 до 5,0 м. Наибольшие мощности приходятся на отметки в северном направлении, где абсолютные отметки изменяются от 200–220 м, на юге, где преобладают отметки 220–260 м, мощность уменьшается до 2,5 м. Небольшие мощности элювия преимущественно приурочены к верховьям рек Шешма, Кичуй, Степной Зая, Мелля, Стярле, Дымка.

На поверхности эрозионно-денудационного приводораздельного склона между средним плато и верхним плато мощность элювия изменяется от 0,5 до 2,5 м. На крутых склонах речных долин отложения почти не встречаются, и на поверхность выходят только коренные породы.

В пределах Камско-Бельской впадины на поверхностях водоразделов мощность элювиальных терригенных отложений варьируется от 2,5 до 9,5 м.

Самые высокие водоразделы заняты средним плато, на котором мощность элювия составляет от 2,5 до 5,5 метров. Поверхности эрозионно-денудационного приводораздельного склона между средним плато и нижнем подвергаются активному разрушению под воздействием природных факторов. В результате в осевых частях водоразделов формируется поверхность снижения, где мощность элювиальных отложений увеличивается до 3,5–5 метров [82].

На водоразделах нижней денудационной поверхности эта мощность увеличивается до 10 метров. Нижнее плато выступало в роли местного базиса денудации и послужило поверхностью, на которую перемещались продукты разрушения, поэтому около 70% территории занято элювием с мощностью более 5,5 м.

Процесс изменения мощности терригенного элювия по глинам и песчаникам с изменением абсолютных высот показан на рисунка 3.2 и 3.3 соответственно.

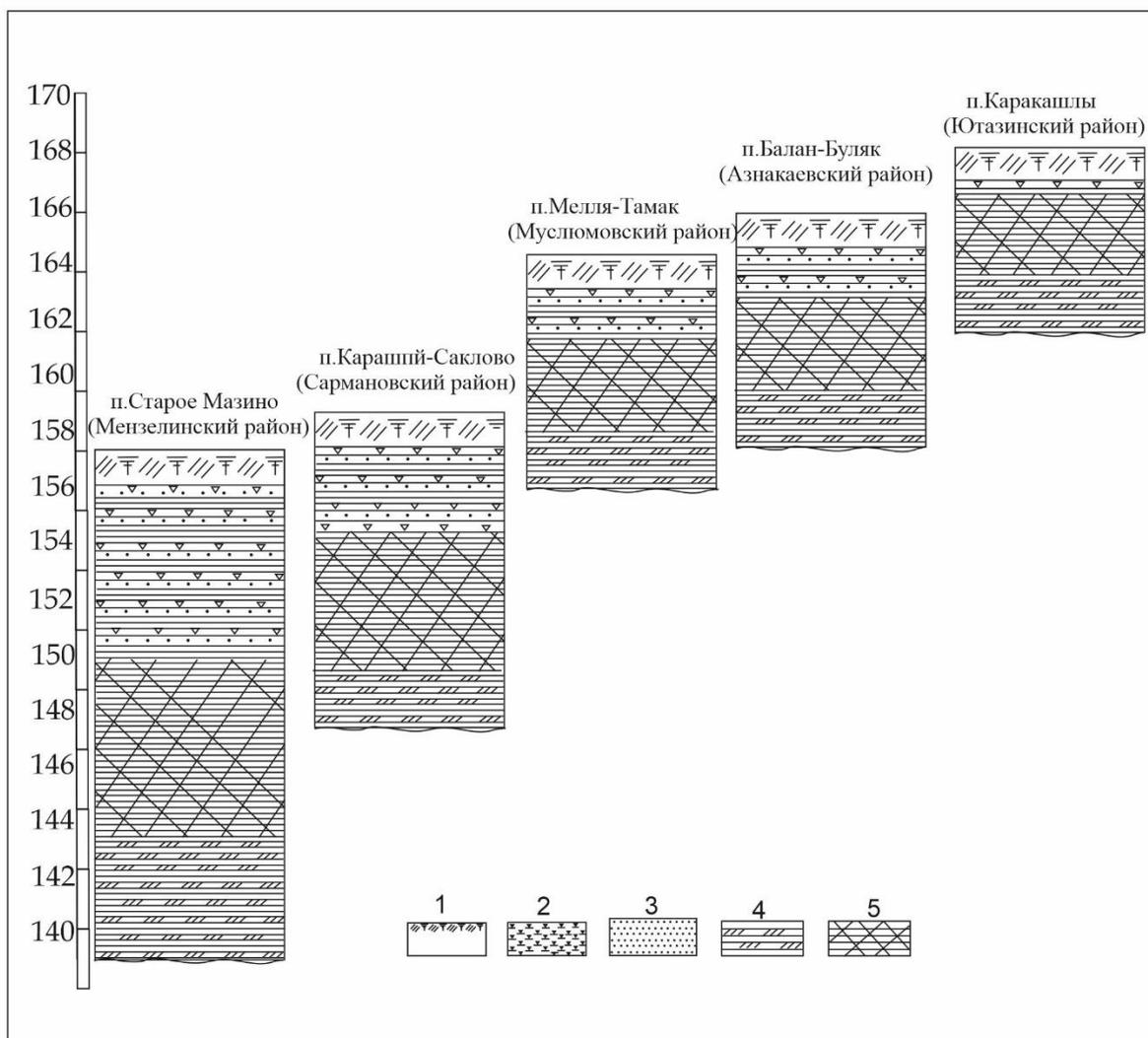


Рисунок 3.2. Геологический профиль распространения элювиальных глин на среднем и нижнем плато (1 – почвенно-растительный слой, 2 – элювиальная глина, 3 – песчаник, 4 – глина сохранного массива, 5 – элювированная глина)

Обзор существующих представлений о формировании элювия, выполненный в п. 1.1 показал, что под влиянием внешних агентов грунтовые массивы подвергаются процессам физического и химического выветривания.

На определенной стадии физического разрушения горных пород начинается химическое выветривание [79]. В некоторых случаях химическое выветривание происходит с очень высокой скоростью, практически не отставая от начальных этапов физического разрушения. В таких ситуациях можно наблюдать породы, радикально изменившие свой химический состав и структуру, но при этом сохранившие практически неизменным первоначальное

физическое строение. В других случаях, напротив, химическое выветривание идет очень медленно, отставая от физического выветривания.

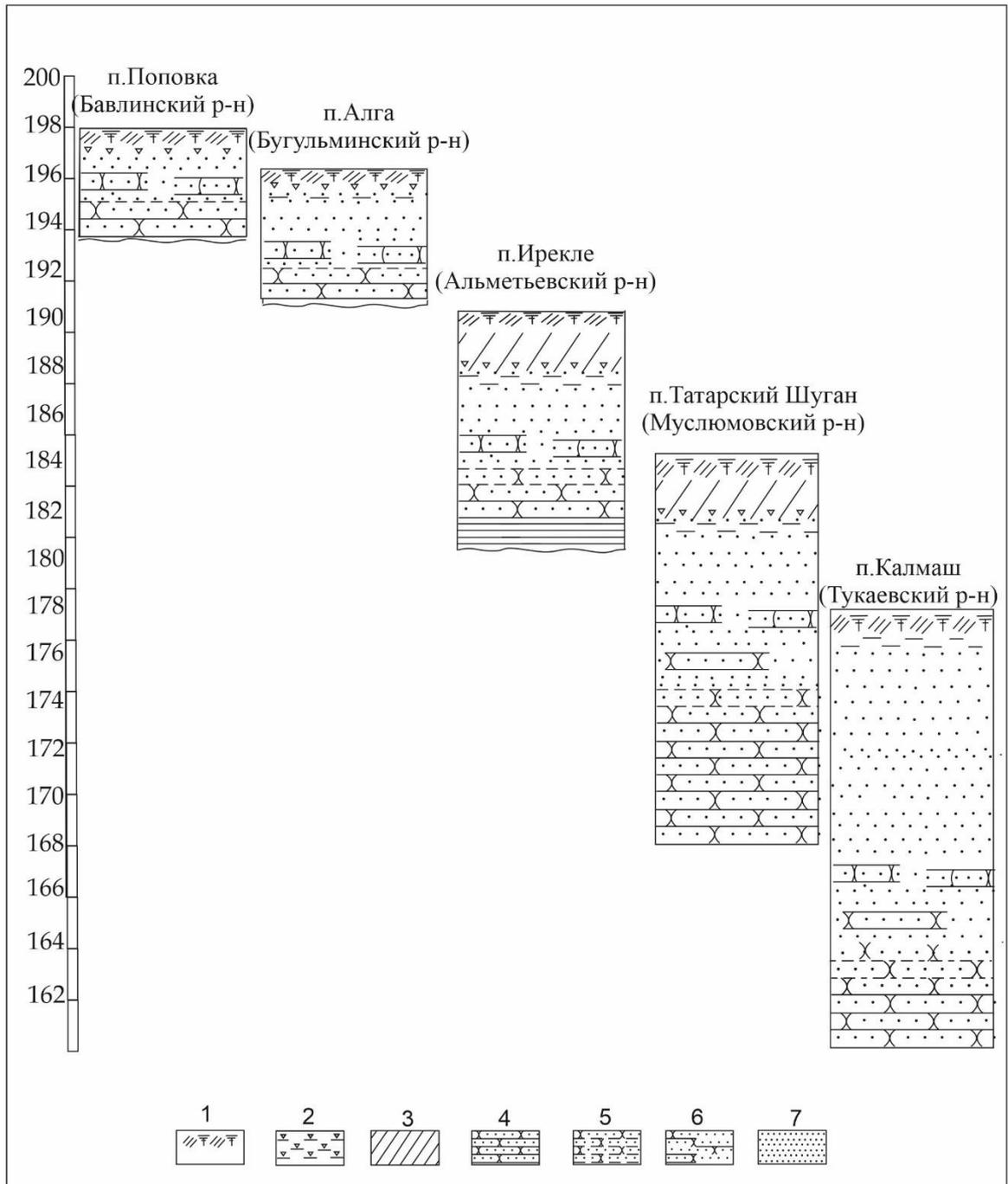


Рисунок 3.3. Геологический профиль распространения элювиальных песчаников на среднем и нижнем плато

1 – почвенно-растительный слой, 2 – элювиальная глина, 3 – суглинок, 4 – песчаник сохранного массива, 5 – элювированный песчаник, 6 – зона химической дезинтеграции песчаников, 7 – элювиальный песок

В результате порода может превратиться в щебень или дресву, состоящие из химически практически неизменных обломков исходной породы.

Все эти варианты взаимодействия физического и химического выветривания, а также их сочетания, усложняются перемещением продуктов этих процессов под действием трех факторов: силы тяжести, поверхностных вод (движущихся под действием гравитации) и ветра.

Основным агентом физического выветривания считают температурные колебания, которые и вызывают раздробление породы вследствие, во-первых, неодинаковости коэффициентов термического расширения отдельных минеральных компонентов породы, во-вторых, неравномерного нагрева или охлаждения внешних и внутренних частей отдельностей породы и, в-третьих, вследствие расширения воды при замерзании в возникших уже в породе трещинках [77].

Влияние климатических факторов на дезинтеграцию песчаников оценивалось проведением испытаний образцов кубической формы размерами 50 x 50 мм на морозостойкость. Испытания проводились по базовому методу – замораживание образцов, предварительно насыщенных водой, и последующим их оттаиванием в воде по следующему режиму: замораживание при температуре минус $18 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 24 часов и последующее оттаивание при температуре плюс $20 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение не менее 2 часов. Разрушение образцов сопровождалось уменьшением их размеров, массы и соответственно плотности. Для исследования образцы отбирались на 16 различных участках среднего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности (по пять образцов на каждом участке).

Для образцов песчаника, выдержавших многократные циклы замораживания и оттаивания, был определен коэффициент морозостойкости $K_{\text{мрз}}$ по формуле:

$$K_{\text{мрз}} = \frac{R_{\text{мрз}}}{R_c}, \quad (3.1)$$

где $R_{\text{мрз}}$ – предел прочности при сжатии образца после испытания на замораживание-оттаивание, R_c – предел прочности на одноосное сжатие образца, не подвергнутого испытанию.

Выполненное исследование показало, что песчаники зоны сохранного массива за редким исключением могут быть классифицированы как морозостойкие (коэффициенты морозостойкости 0,80–0,98). В таблице 3.1 приведены результаты испытаний 5 образцов песчаников, отобранных в районе г. Альметьевск и г. Муслюмово.

Доля образцов, не выдержавших испытание на морозостойкость, составила 13,3 % (12 образцов из общего количества 90 штук). У таких образцов с увеличением циклов попеременного замораживания и оттаивания наблюдалось появление трещин, сколов и других дефектов (рисунок 3.4).

Исследования изменения химического и минерального состава песчаников различных зон, приведенные в п. 3.4, показали, что основным движущим процессом гипергенного преобразования песчаников является выщелачивание кальцитового цемента, в результате чего первичные цементационные типы структур сменяются более слабыми – коагуляционными и механическими.

Характерной особенностью процессов гипергенеза песчаников казанского яруса является сохранение пространственной конфигурации литогенных компонентов в объеме породного массива, а также инвариантность их структурно-текстурных характеристик, сформированных на стадиях седиментогенеза и катагенеза.

Трансформация вещественного состава пород обусловлена преимущественно избирательным выщелачиванием кальцитового цемента из порового пространства. Параллельно протекающий процесс аутигенного минералообразования, выражающийся в цементации обломочных частиц гидроксидами железа, приводит к увеличению когезионных сил в скелете песчаника.

Что касается глинистых элювиальных грунтов, то их гипергенные преобразования обусловлены как физическим выветриванием под действием отрицательных температур в период валдайского оледенения, так и химическими процессами выщелачивания инфильтрационными водами

доломита, кальцита и гипсов из дезинтегрированных глин и последующей реакцией гидролиза полевых шпатов.

Минеральные компоненты глин имеют плотную структурную упаковку в породе, что обуславливает невозможность проникновения в них инфильтрационных вод кроме как по трещинам.

Таблица 3.1 - Результаты испытаний образцов песчаников зоны сохранный массива на морозостойкость

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Площадь поверхности разрушения образца, см ²	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	Коэффициент морозостойкости
	P	F	R_c	K_{мрз}
1.0 (исходный образец)	9,53	25,08	38	-
1.1	8,18	25,48	32,1	0,84
1.2	8,32	25,01	33,25	0,88
1.3	8,91	25,04	35,60	0,94
1.4	7,85	25,73	30,52	0,80
1.5	7,93	25,08	31,60	0,83
2.0 (исходный образец)	3,20	25,92	12,33	-
2.1	3,01	25,22	11,94	0,97
2.2	2,56	24,09	10,63	0,86
2.3	2,71	25,92	10,44	0,85
2.4	2,62	25,50	10,29	0,83
2.5	2,55	24,89	10,24	0,83

Наличие седиментационно-диагенетических карбонатов увеличивает механические свойства глин за счет образования кристаллизационных структурных связей с глинистыми частичками. В породе присутствует 10–15% обломочных минералов, представленных тонкоалевритовыми зернами кварца, полевых шпатов и чешуек мусковита. Аллотигенные минералы равномерно рассеяны в породе, в некоторых участках сконцентрированы в мало протяженные линзочки толщиной до 0,1 мм [84].

Под действием отрицательных температур в период валдайского оледенения глины с поверхности подверглись растрескиванию. В некоторых участках в стенках котлованов фиксируются следы клиновидных морозобойных трещин глубиной более 2,0 м, заполненных бурыми лессовидными суглинками.

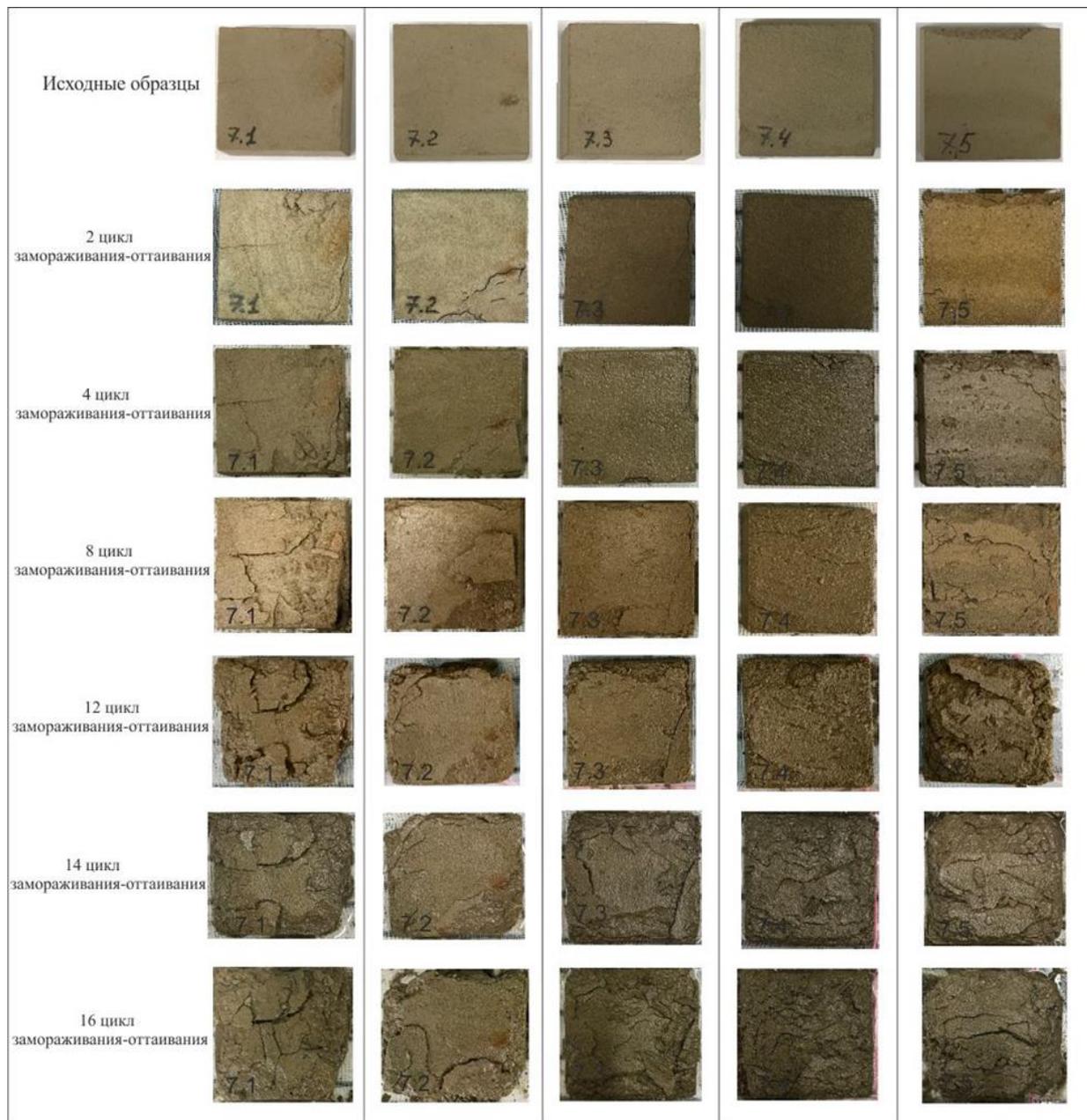


Рис. 3.4. Разрушение песчаников вследствие попеременного замораживания-оттаивания

К зоне четвертичного промерзания приурочена интенсивная раздробленность глинистых пород, осложненная экзогенной складчатостью. Часть разобренных обломков подверглась процессам диспергирования. Рыхлый глинистый материал послужил своего рода цементом, скрепляющим щебнисто-

древянные фрагменты исходной глинистой породы. Разуплотнение глины в зоне элювирования способствовало более интенсивному проникновению в нее вод атмосферных осадков. Это способствовало активизации химических процессов выветривания. Агрессивные инфильтрационные воды полностью или частично выщелочили доломит, кальцит и гипс из дезинтегрированных пермских глин, запустили реакцию гидролиза полевых шпатов. Последнее проявилось в виде уменьшения доли микроклина и появления в составе глинистых минералов каолинита [83, 199]. Подробный анализ изменения химического и минерального состава глин различных зон приведен в п. 3.4.

3.2. Стрoение профиля кор выветривания по песчаникам

Анализ существующих схем расчленения кор выветривания показал, что ни одна из них не может быть применена для описания профилей выветривания по песчаникам Восточного Закамья. Встречающиеся в литературе схемы описывают профили выветривания по магматическим или метаморфическим породам, практически не затрагивая осадочные [39, 163, 172, 173, 174, 185, 186, 188, 191]. В таблице 3.2 приведены существующие схемы расчленения предлагаемых различными авторами:

Таблица 3.2 – Разделение кор выветривания различными авторами на зоны

По И.И. Гинзбургу для магматических пород (1947 г)	По В.Б. Швецу, для грунтов Урала (1970 г)	По Э.А. Джавахишвили для гранитов, (1962 г)	По В.П.Петрову для гранитов Урала (1967 г)	СП 11-105-97- 2000. Часть 3
Алитная	Глинистых продуктов	Мелкого дробления	Каолитовая	Зона бесструктурно- го элювия (пески, супеси, суглинки, глины)
Кислая сиаллитовая	Выщелачивания	Щебенистая	Гидрослюдис- тая	Зона структурного элювия или сапролита
Сиаллитовая	Дезинтеграции	Глыбовая	Дресвянная	Зона выветрелой породы или рухляка
Обломочная	Слабого расчленения	Скрытотре- щиноватая		Зона трещиноватой горной породы

В существующих схемах расчленения разделение выделяемых зон основано либо на размерах образующихся в результате физического выветривания обломочных литотипов, либо на изменении минерального состава грунтов вследствие процессов химического выветривания. Наиболее применимой для описания профилей песчаников является схема, предлагаемая СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов», в котором элювий по песчаникам может быть рассмотрен с точки зрения его дезинтеграции от трещиноватой скальной породы до дисперсного несвязного грунта [146].

В рамках диссертационного исследования была поставлена задача установить и систематизировать имеющуюся зональность профилей выветривания по песчаникам Восточного Закамья с целью дальнейшей инженерной классификации выделенных разновидностей.

В ходе маршрутного обследования территории и выполнения полевых работ было выполнено изучение массивов песчаников в точках наблюдения на глубину от 0,5 до 20,0 м. Изучение осуществлялось путем детального описания разрезов с выделением зон изменения структурно-текстурных признаков, отбором образцов и дальнейшими лабораторными изучениями изменения минерального и химического состава, физико-механических свойств песчаников [85].

На рисунках 3.5, 3.6 показаны примеры изученных в ходе маршрутного обследования карьеров и обнажений.



*А. Песчаный карьер п. Поповка
Бавлинский район*



*Б. Песчаный карьер п. Алга
Бугульминский район*



*В. Песчаный карьер п. Иркле
Альметьевский район*



*Г. Песчаный карьер п. Чупаево
Альметьевский район*



*Песчаный карьер п. Татарский Шуган
Муслюмовский район*



*Песчаный карьер п. Калмаиш
Тукаевский район*

Рисунок 3.5 Фото обнажений песчаников по геологическому профилю



*Песчаный карьер
г. Набережные Челны Тукаевский район*



*Песчаный карьер
г. Мензелинск Мензелинский район*



*Песчаный карьер п. Стар.Мензелябаш
Сармановский район*



*Песчаный карьер
п. Стар.Варяши Муслумовский район*



*Песчаный карьер п. Ефановка
Бугульминский район*



*Песчаный карьер п. Макаровка
Нижнекамский район*

Рисунок 3.6 Фото обнажений песчаников на территории Восточного Закамья

Анализ строения измененных толщ песчаников по разрезу позволил выделить некоторую зональность и стадийность их постседиментационного преобразования под влиянием процессов гипергенеза (Рисунок 3.7).



Рисунок 3.7. Зональность преобразования песчаников

Неизмененные терригенные породы, залегающие в нижней части разрезов, представляют собой граувакковые песчаники (Зона Г), в которых обломочная компонента (обломки эффузивных и кремнистых пород, зерна кварца и полевых шпатов, чешуйки мусковита и хлорита) мелкозернистой размерности сцементирована кальцитовым цементом базально-порового типа с неравномерной перекристаллизацией [24]. Особенностью цемента является наличие глинистой составляющей, которая частично рассеяна, частично сконцентрированы в слойки, обуславливая слоистую текстуру породы.

Песчаник по структуре средне- и мелкозернистый, реже тонкозернистый, алевритистый, с косослоистой текстурой [84].

Порода на 80–85 % сложена обломочным компонентом, на 15–20 % - цементирующим минеральным веществом. Обломочная часть имеет размеры от 0,05 до 0,25 мм и представлена окатанными обломками кремнистых и эффузивных пород (70 %), угловатыми зернами кварца (25 %), чешуйками мусковита (5 %). Обломки горных пород и минералов сцементированы кальцитовым цементом с примесью глинистого материала. Цемент базально-порового типа, выполнения, по структуре тонко-мелкозернистый за счет перекристаллизации. Поры межзерновые, субкапиллярной размерности, выполнены водными растворами, препятствующими проникновению в породы

внешних атмосферных вод [28]. Подобные типы песчаников в большинстве карьеров слагают либо нижнюю, неизмененную часть разрезов, либо образуют столбообразные реликтовые останцы в гипергенно измененных массивах терригенных пород. С точки зрения строения профиля выветривания они являются материнскими субстратом, по которому развиваются элювиальные отложения (зона сохранного массива).

Зона дезинтегрированного песчаника располагается выше по разрезу (Зона В). Она представлена крупными фрагментами плотной неизмененной породы (от 10,0 до 30,0 см) сцементированными рыхлым песчаным материалом. Это зона образовалась за счет избирательного выщелачивания известкового цемента из песчаника инфильтрационными водами, которые проникали в виде отдельных «языков» - затеков. Учитывая механизм гипергенного разрушения терригенных пород эту зону можно называть зоной химической дезинтеграции [84, 199]. Ее мощность в разрезах не превышает 0,5–0,6 м. Зона сложена многочисленными глыбами, щебнем и дресвой из реликтовых фрагментов сцементированных исходных пород в окружении слабосцементированного, разуплотненного до рыхлого сложения песчаника. Обособленные куски реликтов по периферии несут следы выщелачивания, слабоскрепленные аллотигенные обломки горных пород и минералов легко осыпаются с их поверхности при незначительном механическом воздействии руками. Снизу вверх по разрезу наблюдается последовательное уменьшение размеров реликтовых кусков песчаников, сопровождающееся повышением доли слабо сцементированной разрыхленной породы. Оптико-микроскопические исследования целиков зоны дезинтеграции показали, что в них прошел избирательный процесс выщелачивания. Обломки горных пород и минералов остались неизмененными, даже их положение в объеме породы не претерпело коррекций. При этом в локальных участках кальцитовый цемент был выщелочен с образованием пор-каверн размером до 1,0 мм. В ряде случаев кальцитовый цемент сохранился в виде оторочек по периферии обломочных зерен. Наблюдается тенденция сохранения большей толщины кальцитовой оторочки с увеличением содержания в них глинистого

материала. Очевидно, наличие в кальцитовом цементе глинистых минералов снижает интенсивность его выщелачивания агрессивными инфильтрационными водами атмосферных осадков. На рисунке 3.8 показаны стенки обнажений и карьеров, сложенных песчаниками зоны В.

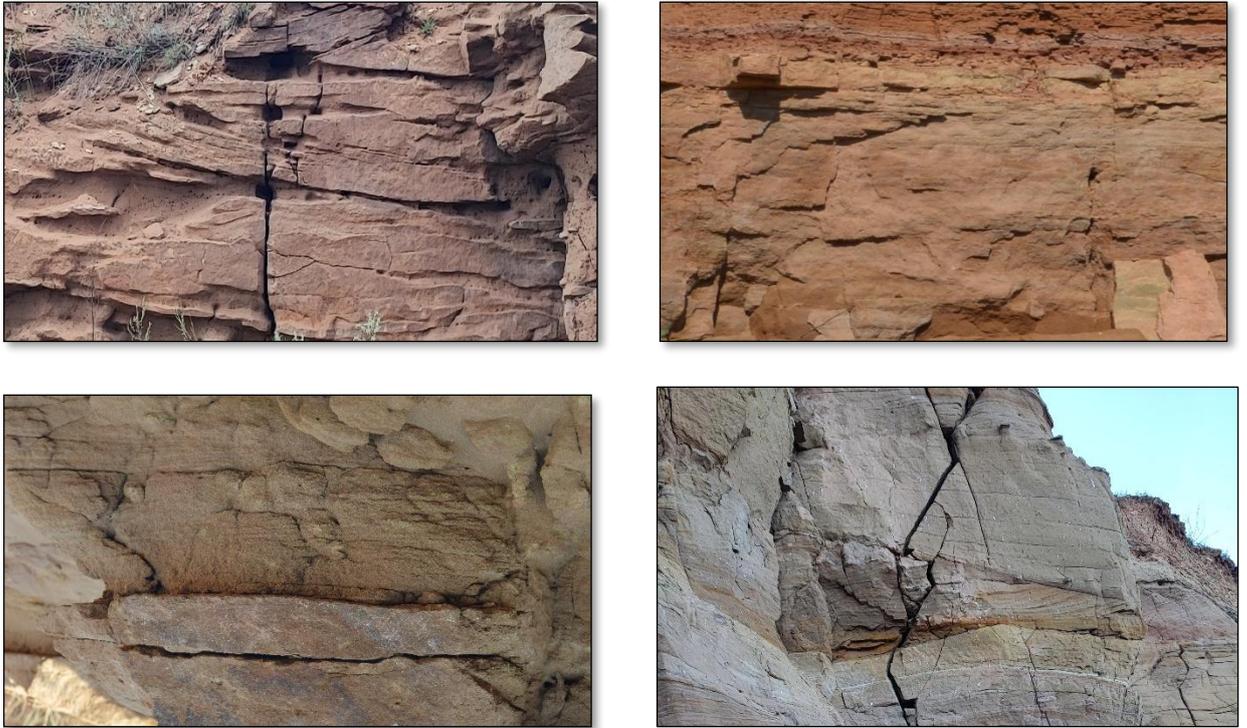


Рисунок 3.8. Дезинтегрированный песчаник (Зона В)

Над зоной химической дезинтеграции выше по разрезу залегает зона элювированных песчаников (зона Б), мощность которой может достигать до 20,0 м.

В пределах этой зоны из песчаников практически полностью выщелочен кальцитовый цемент. Обломочные зерна опираются друг на друга поверхностями образуя точечные контакты соприкосновения. На контактах обломков минералов и горных пород сконцентрированы глинистые частички сформировав новый цемент [19, 84]. Рыхлая структурная упаковка пород и преобладание в них водно-коллоидных и механических типов связей обуславливает нестойкость элювированных песчаников к обводнению. При этом в разрезах зоны элювированных песчаников в сухом состоянии отмечаются все текстурные признаки первичных неизмененных пород (рисунок 3.9).

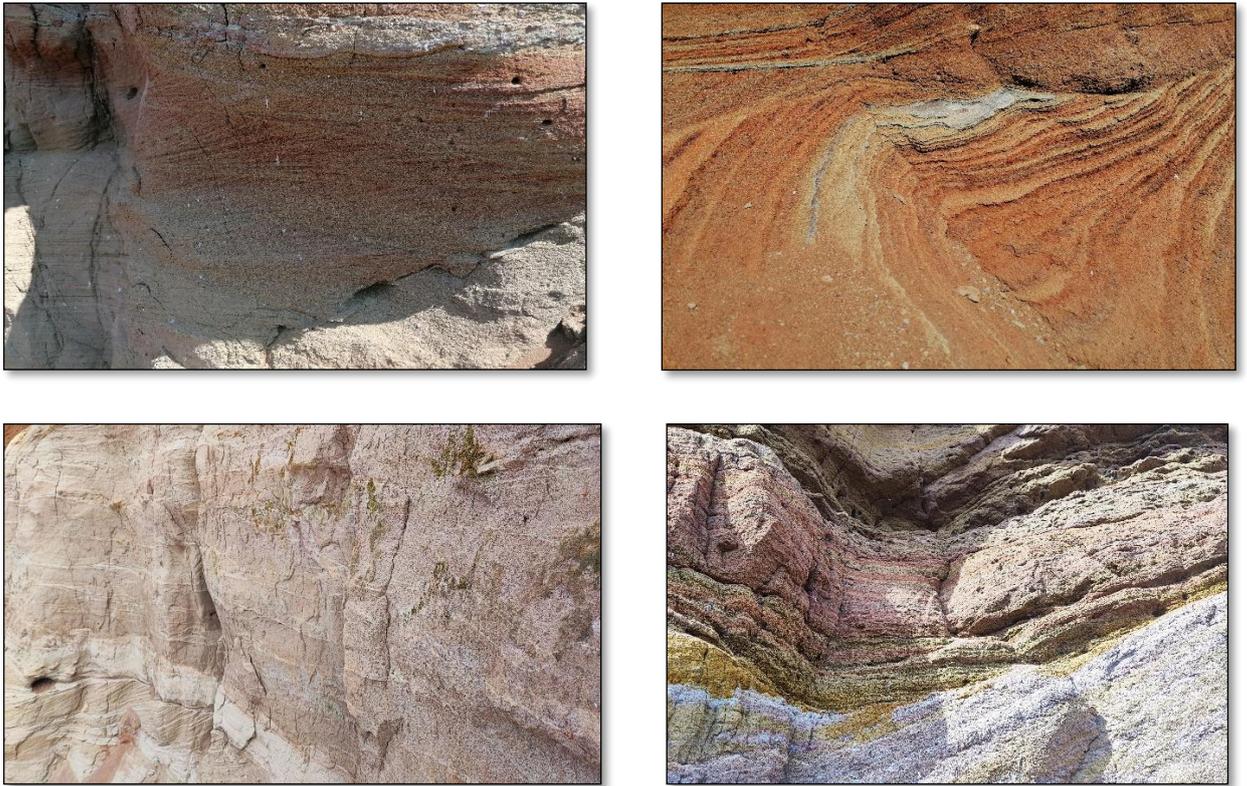


Рисунок 3.9. Косослоистая текстура элювированных песчаников (Зона Б)

Необходимо отметить, что термин «элювированный песчаник» введен В.Н. Швановым [174] и характеризует состояние массива, при котором породы претерпели процессы химического или физического выветривания, но сохранили при этом текстурные признаки, свойственные исходной материнской породе.

Песчаники зоны Б сохранили первичную косослоистую текстуру (рисунок 3.9), что не позволяет считать их классическим элювием. В пределах этой зоны из песчаников практически полностью выщелочен кальцитовый цемент [24]. Его фрагменты отмечаются в локальных участках породы на контактах соприкасающихся зерен минерального скелета. В отличие от исходного песчаника, у которого обломки горных пород и минералов не соприкасаются между собой, а «плавают» в кальцитовом цементе, в зоне выщелачивания обломочные зерна контактируют друг с другом боковыми поверхностями.

За счет постепенного сближения зерен у них сформировались точечные контакты с механическим типом связи, чему в немалой степени способствовали

шероховатость частиц кремнистых и эффузивных горных пород и угловатость кварцевых зерен. Одновременно с перемещением минеральных обломков произошло перераспределение глинистого материала. Инфильтрующиеся воды, смачивая глинистые минералы, способствовали их агрегированию и вторичной аккумуляции либо на контактах минеральных частиц, либо на шероховатых поверхностях обломков горных пород.

Таким образом, в песчаниках сформировались, наряду с механическим, и коагуляционные типы контактов. Глинистые агрегаты, обладая высокой сорбционной активностью, осаждали на поверхности из поровых растворов коллоидные соединения гидроксидов железа. Со временем, по мере «старения» коллоидов гидроксиды преобразовались в гематит, увеличивая силу структурных связей между минеральными частицами в породе. Оптико-микроскопические исследования разуплотненных песчаников показали, что в пределах всего разреза породы характеризуются рыхлой структурной упаковкой. Минеральные частицы скелета взаимодействуют друг с другом через точечные контакты и мостики из глинистых агрегатов. За счет слабых структурных связей терригенные породы зоны выщелачивания легко рассыпаются при незначительном механическом воздействии.

Следует сказать, что зона элювированного песчаника не является абсолютно однородной в разрезах. В стенках исследованных карьеров отмечаются следы существования древних водоносных горизонтов, чаще всего грунтовых вод. Зеркало ранее существовавших грунтовых вод хорошо отбивается по темно-бурым лимонитовым конкрециям, расположенным на одном латеральном уровне в стенках карьеров. Присутствие аутигенных железистых агрегатов в разуплотненных до пористости 35–45 % песчаниках связано с проникновением в массивы терригенных пород вод заболоченных поверхностных водоемов [165]. Вероятно, инфильтрация началась в плейстоцене, когда территория Восточного Закамья входила в состав обширной перигляциальной зоны [17], и закончилась в голоцене [134]. Выведенные на уровень денудационного среза песчаники казанского яруса, по-видимому,

являлись в этот период времени областями подземного стока для заболоченных водоемов. Пресные воды, обогащенные миграционно-способными соединениями железа, достигнув поверхности неизмененных плотных известковистых песчаников, образовывали водоносные горизонты грунтовых вод. При этом на уровне положения зеркала грунтовых вод активизировались процессы вторичного переотложения железистых соединений с образованием рудного горизонта. Постепенно растворяя кальцит песчаников, уровень лежа грунтовых вод понижался, и процесс формирования рудного горизонта вновь начинался ниже по разрезу разуплотненных песчаников. Таким образом, в разрезе массива элювированных песчаников могло сформироваться до трех латерально выдержанных слоев, представленных разобщенными лимонитовыми конкрециями.

Венчают разрезы массивов терригенных пород казанского яруса элювиальные пески (рисунок 3.10), развивающиеся по кровле разуплотненных песчаников зоны выщелачивания. Мощность элювиального слоя, как правило, небольшая, варьирует от 0,2 до 0,6 м, поэтому инженерно-геологической характеристики песков этой зоны выполнено не было, за исключением определения их гранулометрического состава и оценки суффозионности. Отсутствие более мощных элювиальных покровов объясняется постоянным сносом рыхлых песков в ближайшие понижения рельефа и речные долины. В отличие от подстилающих песчаников пески характеризуются отсутствием первичной косослоистой текстуры, более плотным сложением, несколько большим содержанием глинистого материала, полным отсутствием кальцитового цемента. Находясь в зоне с контрастными перепадами температур и влажности обломочные зерна приобрели более устойчивую структурную упаковку, приближенную к ромбоэдрической [24]. Между обломками горных пород и минералов преобладают механические контакты структурных связей. Глинистые минералы постоянно удаляются транзитными поверхностными водными потоками.

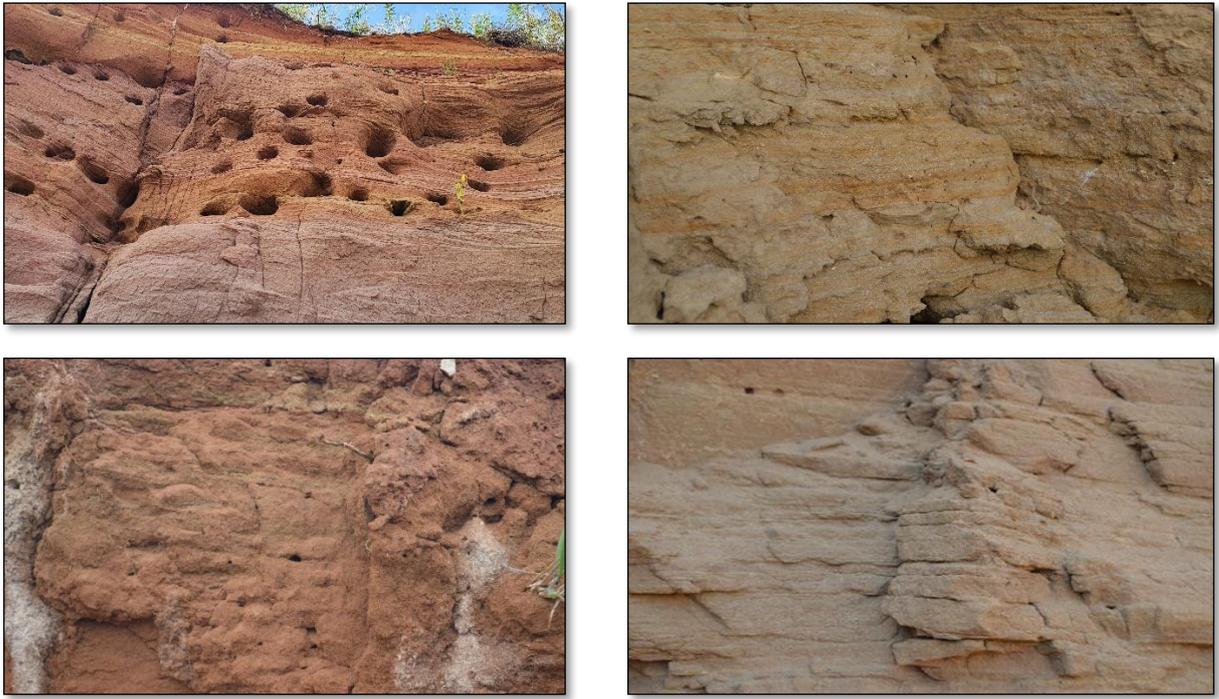


Рисунок 3.10. Элювиальные пески (Зона А)

На рисунке 3.11 показано строение песчаников различных зон профиля выветривания.

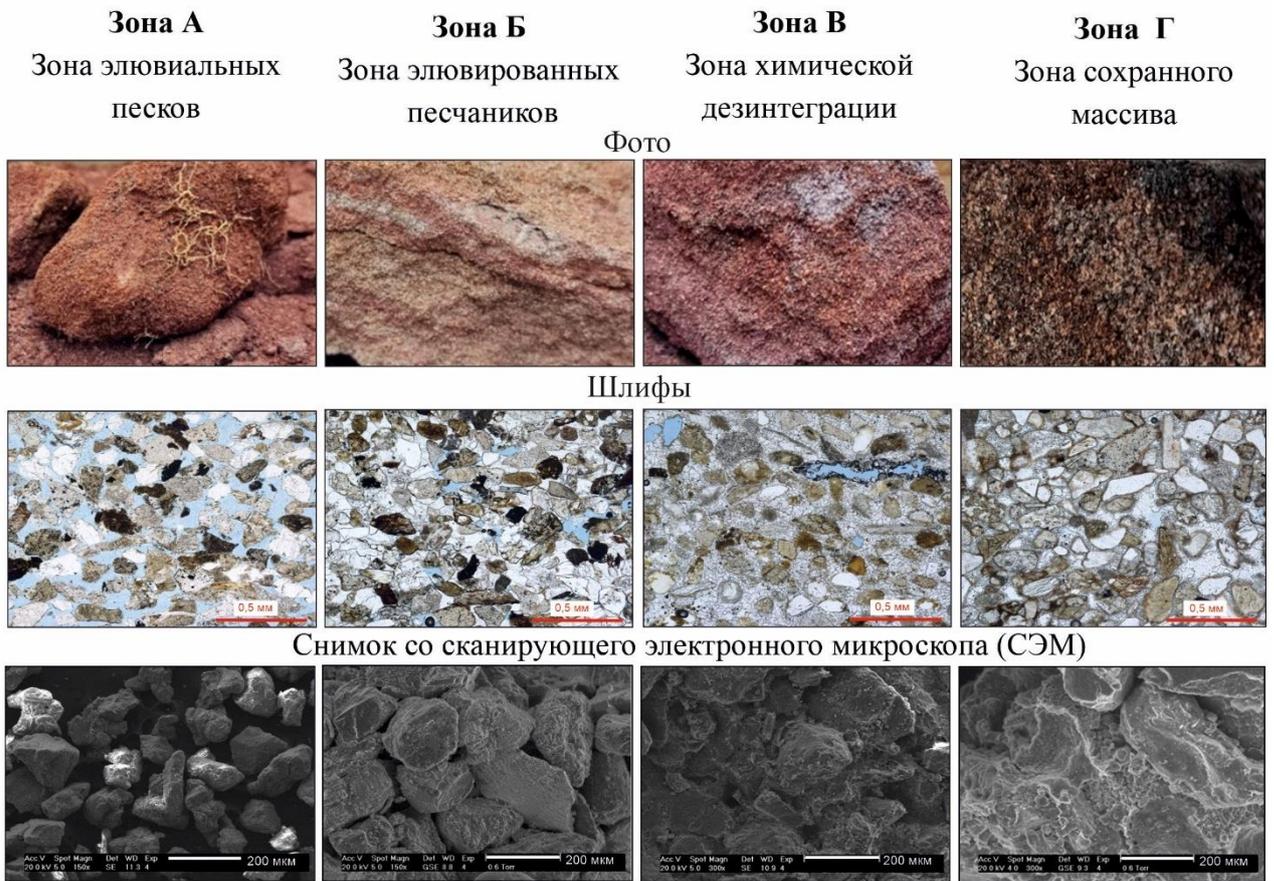


Рисунок 3.11. Изменение строения песчаников различных зон преобразования

3.3. Строение профиля кор выветривания по глинам

В отличие от песчаников, описанию зон расчленения глинистых пород уделено несравнимо большее внимание [3, 9, 16, 17, 21, 62, 77, 94, 98, 102, 107, 109, 116, 127, 128, 131, 165, 203]. Г.С. Золотарев рассматривает дезинтеграцию глин как процесс перехода неизменной породы в трещиноватую, обломочную, а затем дисперсную фазу. То есть фактически речь идет о последовательном переходе полускальной терригенной породы в дисперсный пластичный грунт. Л.А. Ярг в процессе изучения глинистых разрезов на территории Африки выделяет помимо исходной материнской породы 5 зон: трещинную, обломочную, литомаржу, дисперсную и зону вторичной цементации. Н.В. Коломенский и Э.А. Джавахишвили предлагают рассматривать профиль выветривания с точки зрения размерности образующихся литотипов. В.Б. Швец выделяет в процессе образования элювия последствия как физического выветривания с образованием зон слабого расчленения и дезинтеграции, так и химического, с образованием зоны выщелачивания и зоны глинистых продуктов (Таблица 3.3).

Зональность профилей выветривания по глинам устанавливалась путем проведения маршрутного обследования территории Восточного Закамья. Для глинистых толщ был исследован характер их строения, выполнен отбор образцов с целью изучения физико-механических свойств, минерального и химического состава.

Как было отмечено ранее, элювий по глинистым породам на территории Восточного Закамья развивается преимущественно на поверхности нижнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности и Камско-Бельской низменности [88].

На рисунке 3.12 показаны фото некоторых карьеров и обнажений глин территории Восточного Закамья.

Таблица 3.3 - Схемы расчленения кор выветривания глинистых пород на зоны
(Составлена Барановским А.Г., 2015)

По Г.С. Золотареву, для глинистых и изверженных пород (1971 г)	По Л.А. Ярг для грунтов Африки (1985 г.)	По Н.В. Коломенско- му, для глинистых грунтов (1949 г.)	По В.Б. Швецу, для грунтов Урала (1970 г.)	По Э.А. Джавахи- швили, для глин Абхазии (1970 г.)	По СП 11- 105-97. Часть 3
I- Дисперсная	V – вторичной цементации	IV – тонкого дробления	IV – глинистых продуктов	Мелкого дробления	Зона бесструк- турного элювия (пески, супеси, суглинки, глины)
II- Обломочная	IV – дисперсная	II – зернистая или мелкообло- мочная	III – Выщелачи- вания	Щебенистая	Зона структурно- го элювия или сапролита
III- Трещинная	III – литомаржа	I – глыбовая	II - Дезинтегра- ции	Глыбовая	Зона выветрелой породы или рухляка
	II - обломочная	I- монолитная	I – слабого расчленения	Скрытотре- щиноватая	Зона трещинова- той горной породы
	I – трещинная				
	0 – материнские породы				



*п. Старое Мазино
Мензелинский район*



*п. Карашай-Саклово
Сармановский район*



*п. Балан-Буляк
Азнакаевский район*



*п. Мелля-Тамак
Муслюмовский район*



*п. Каракашлы
Ютазинский район*



*п. Кичучатово
Альметьевский район*

Рисунок 3.12 Фото обнажений глинистых грунтов на территории Восточного Закамья

Анализ строения измененных глинистых толщ позволил выделить некоторую зональность и стадийность их постседиментационного преобразования под влиянием процессов гипергенеза. В профиле гипергенеза глин можно выделить три зоны: зону неизмененных пород, зону элювированных глин и зону элювиальных глин (рисунок 3.13).

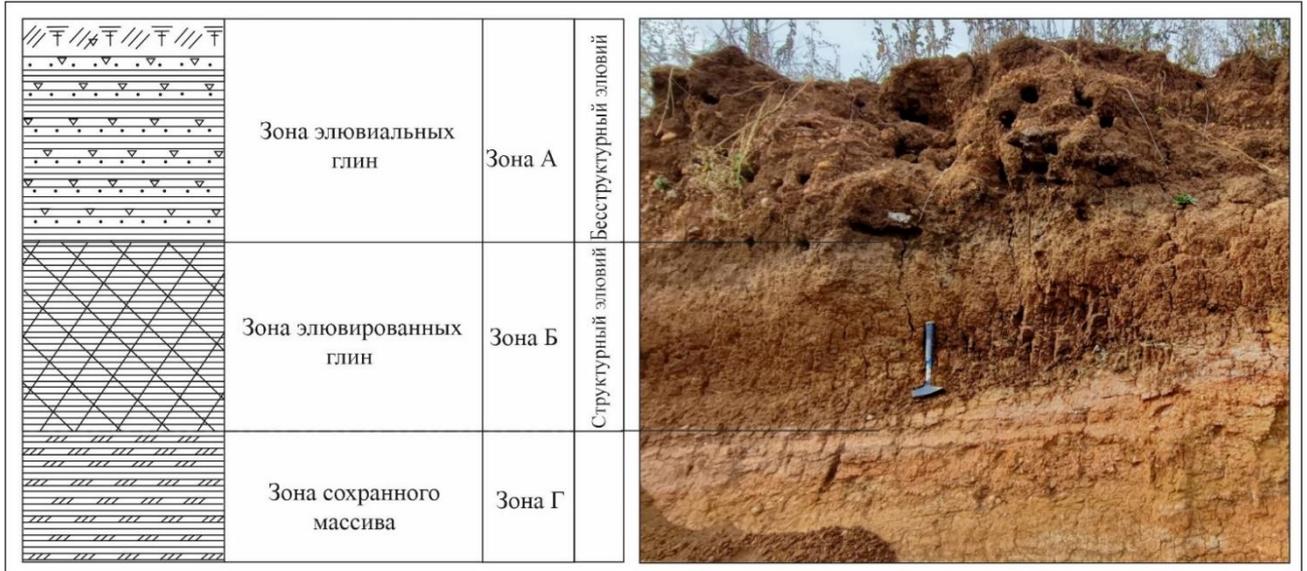


Рисунок 3.13. Зональность преобразования глин

Глины в исходном состоянии породы представляют собой плотные, темно-бурые, аргиллитоподобные глины, разбитые в грунтовых массивах многочисленными пересекающимися наклонными трещинами на оскольчатые отдельности размером до 10,0 см. На большей части нижнего плато аргиллитоподобные глины сверху перекрыты четвертичными делювиально-аллювиальными отложениями, что затрудняет изучение развивающейся по ним зоны гипергенеза. Лишь в стенках карьерах и вырытых котлованах появляется возможность рассмотреть особенности изменения среднепермских глинистых пород под действием процессов выветривания.

Неизмененные глины по составу глинистой компоненты полиминеральные, в них преобладает смешанослойная минеральная разность иллит-монтмориллонитового состава и иллит, в меньшей степени содержится хлорит. Совместно с глинистыми минералами в неизмененных глинах присутствует кальцит, доломит и гипс (15–20 %) [83]. Аллотигенная часть в

сумме составляющая 40–55%, представлена обломками кварца, полевых шпатов, кремнистых и эффузивных пород. Минеральные компоненты имеют плотную структурную упаковку в породе, что обуславливает невозможность проникновения в них инфильтрационных вод, кроме как по трещинам. Наличие седиментационно-диагенетических карбонатов увеличивает механические свойства глин за счет образования кристаллизационных структурных связей с глинистыми частичками. В породе присутствует 10–15 % обломочных минералов, представленных тонкоалевритовыми зернами кварца, полевых шпатов и чешуек мусковита. Аллотигенные минералы равномерно рассеяны в породе, в некоторых участках сконцентрированы в мало протяженные линзочки толщиной до 0,1 мм.

В зоне Б выделен слой глин, названных элювированными. В инженерной геологии отсутствует как таковое понятие «элювированная глина», предлагается использование этого термина по аналогии с песчаниками для обозначения дочетвертичных слоистых аргиллитоподобных глин, обладающих текстурными признаками исходной породы и имеющей признаки физического выветривания (трещиноватость, оскольчатость) [83].

В элювированной зоне глинистые породы претерпели дезинтеграцию. Под действием отрицательных температур в период валдайского оледенения глины с поверхности подверглись растрескиванию. В некоторых участках в стенках котлованов фиксируются следы клиновидных морозобойных трещин глубиной более 2,0 м, заполненных бурыми лессовидными суглинками. К зоне четвертичного промерзания приурочена интенсивная раздробленность глинистых пород, осложненная экзогенной складчатостью. Часть разобщенных обломков подверглась процессам диспергации. Рыхлый глинистый материал послужил своего рода цементом, скрепляющим щебнисто-дресвяные фрагменты исходной глинистой породы.

Зона элювиальных глин имеет значительно меньшую мощность по сравнению с элювированными глинами и на большей части территории размыта. От элювированных глин элювиальные глины отличаются тем, что они

полностью потеряли текстурные признаки и представляют собой, по сути, рыхлую глинистую массу, часто разрушенную корневой системой растений. В профиле выветривания элювиальная глина выделяется более светлым окрасом, что обусловлено вымыванием соединений $\text{Fe}(\text{OH})_3$ атмосферными осадками, обогащающимися содержащимся в почвенно-растительном слое CO_2 .

Процесс изменения строения глин различных зон проиллюстрирован на рисунке 3.14.

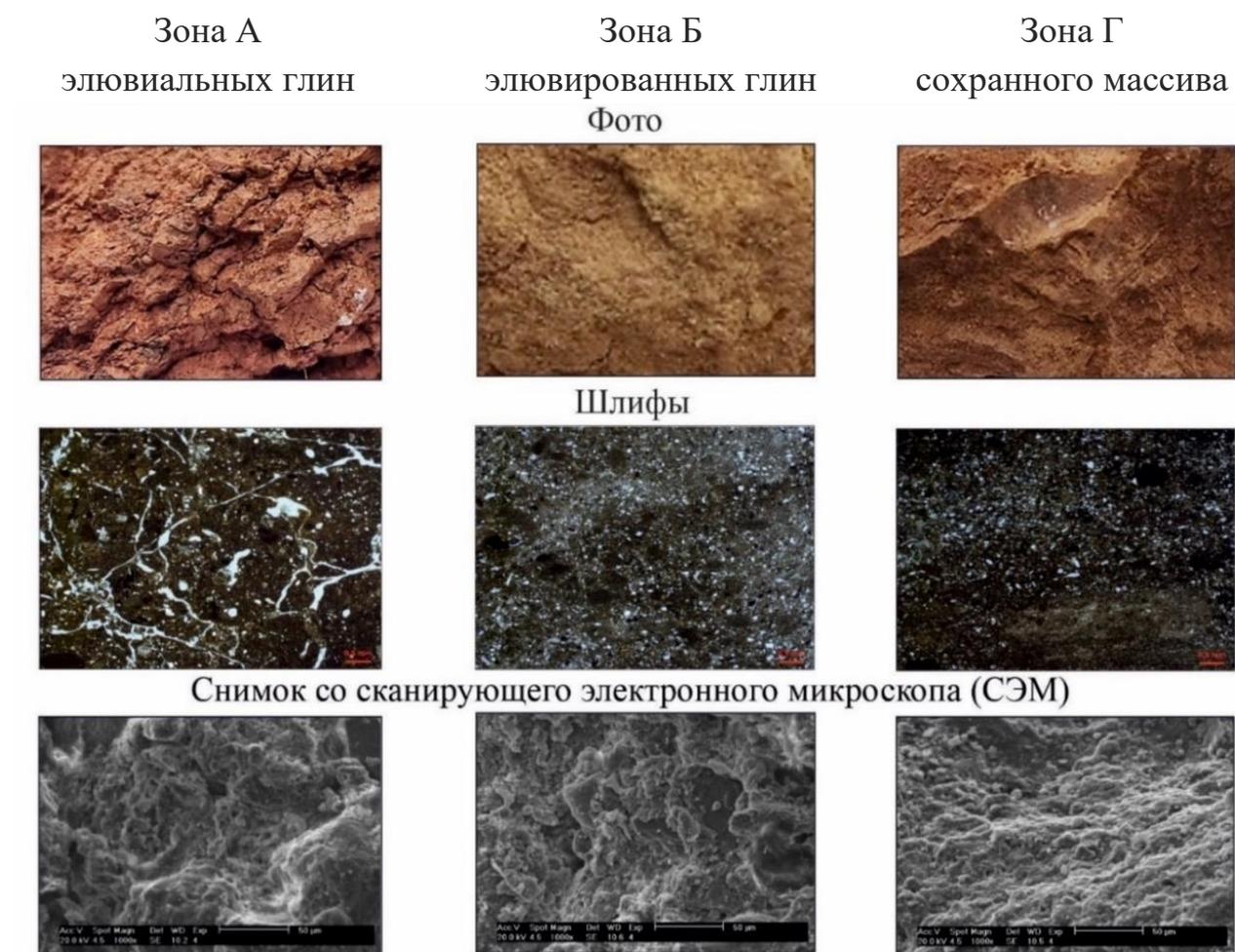


Рисунок 3.14. Изменение строения глин различных зон преобразования

3.4 Минеральный и химический состав

Минеральный состав элювиальных образований был изучен на дифрактометре D2 Phaser (Bruker) методом рентгенографических исследований.

Исследования элементного состава проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker).

В результате выполненных исследований было установлено, что по минеральному составу песчаники зоны Г сложены кварцем (32–34 %), альбитом (24–26 %), микроклином (12–15 %), мусковитом (9–11%), кальцитом (15–18 %), смешанослойной иллит-монтмориллонитовой фазой (3–5 %), хлоритом (2–3 %), каолинитом (~1 %) и гематитом (~1 %). Кварц, альбит, микроклин и мусковит относятся к обломочному компоненту породы, кальцит – к цементирующему веществу.

Для изучения изменения минерального состава в процессе выветривания, были проведены исследования образцов, отобранных из каждой выделенной зоны [83]. Результаты исследований сведены в таблицу 3.4.

Хорошо видно, что от зоны Г до зоны А наблюдается резкое снижение (до полного исчезновения) содержания кальцита. То есть скальная порода утрачивая карбонатный цемент преобразуется в дисперсный песок. Начиная с зоны В наблюдается увеличение содержания смешанослойных минералов, альбита и микроклина за счет привноса их из вышелегающих глинистых грунтов и почвенно-растительного слоя.

Таким образом, процесс химического выветривания в песчаниках можно охарактеризовать протеканием процесса растворения карбонатов:

- $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{HCO}_3$
- $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H} + \text{HCO}_3$
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Ca} + 2\text{HCO}_3$

Таблица 3.4 - Минеральный состав песчаников различных зон

Литология	Минеральный состав (вес %)									
	Кальцит	Доломит	Гематит	Каолинит	Роговая обманка	Мусковит	Смешанно-слоиные	Альбит	Микроклин	Кварц
Зона А Зона элювиальных песков (82 образца)	-	-	$\frac{1\div3}{2}$	$\frac{1\div5}{3}$	$\frac{1\div3}{2}$	$\frac{2\div8}{4}$	$\frac{14\div18}{17}$	$\frac{22\div34}{28}$	$\frac{12\div20}{12}$	$\frac{28\div39}{32}$
Зона Б Зона элювированных песчаников (54 образца)	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div4}{3}$	$\frac{18\div26}{21}$	$\frac{28\div34}{30}$	$\frac{6\div10}{8}$	$\frac{30\div38}{33}$
Зона В Зона химической дезинтеграции (50 образцов)	$\frac{3\div12}{6}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{2\div5}{3}$	$\frac{4\div10}{8}$	$\frac{26\div34}{30}$	$\frac{6\div10}{8}$	$\frac{38\div45}{41}$
Зона Г Зона сохранного массива (60 образцов)	$\frac{19\div35}{25}$	$\frac{1\div3}{2}$	$\frac{1\div3}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{1\div3}{1}$	$\frac{1\div2}{1}$	$\frac{3\div8}{5}$	$\frac{9\div18}{12}$	$\frac{1\div3}{2}$	$\frac{38\div58}{50}$

Примечание: в числителе указан диапазон изменения, в знаменателе – средние значения

Это также подтверждается исследованиями элементного анализа различных зон, проиллюстрированного на рисунке 3.15.

Почвенно-растительный покров		Структурный элювий	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	TiO2	Fe2O3	CaO	SrO	MnO
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Зона элювиальных песков	Зона А	Бесструктурный элювий	3,81	4,02	16,29	62,68	0,196	1,338	0,422	4,397	1,598	0,019	0,066
Зона элювированных песчаников	Зона Б	Структурный элювий	3,44	3,55	14,36	56,15	0,174	1,178	0,404	4,173	7,187	0,027	0,150
Зона химической дезинтеграции	Зона В		3,02	3,41	13,56	51,93	0,160	1,106	0,363	3,688	10,491	0,029	0,276
Зона сохранного массива	Зона Г		2,39	3,09	10,20	38,74	0,123	0,777	0,294	2,933	21,066	0,034	0,254

Рисунок 3.15. Элементный состав песчаников в оксидной форме

Неизменные глины по составу глинистой компоненты полиминеральные, в них преобладают смешаннослойная минеральная разность иллит-монтмориллонитового состава и иллит, в меньшей степени содержится хлорит. Совместно с глинистыми минералами в неизменных глинах присутствуют кальцит, доломит и гипс (15–20 %). Аллотигенная часть, в сумме составляющая 40–55 %, представлена обломками кварца, полевых шпатов, кремнистых и эффузивных пород. Минеральные компоненты имеют плотную структурную упаковку в породе, что обуславливает невозможность проникновения в них инфильтрационных вод кроме как по трещинам. Наличие седиментационно-диагенетических карбонатов увеличивает механические свойства глин за счет образования кристаллизационных структурных связей с глинистыми частичками. В породе присутствует 10–15 % обломочных минералов, представленных тонкоалевритовыми зернами кварца, полевых шпатов и чешуек мусковита. Аллотигенные минералы равномерно рассеяны в породе, в некоторых участках сконцентрированы в мало протяженные линзочки толщиной до 0,1 мм.

Как отмечалось выше, под действием отрицательных температур в период валдайского оледенения глины с поверхности подверглись растрескиванию. В некоторых участках в стенках котлованов фиксируются следы клиновидных морозобойных трещин глубиной более 2,0 м, заполненных бурыми лессовидными суглинками. К зоне четвертичного промерзания приурочена интенсивная раздробленность глинистых пород, осложненная экзогенной складчатостью. Часть разобщенных обломков подверглась процессам диспергирования. Рыхлый глинистый материал послужил своего рода цементом, скрепляющим щебнисто-дресвяные фрагменты исходной глинистой породы.

В таблице 3.5 приведены сведения о минералогическом составе глин различных зон.

Видно, что минеральный состав глин сохранный массива (зона Г) имеет характерное содержание кальцита и гипса. Ни в зоне Б, ни в зоне А эти минералов не обнаруживаются.

Таким образом, процесс химического выветривания в глинах можно охарактеризовать протеканием процесса растворения карбонатов:

- $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{HCO}_3$
- $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H} + \text{HCO}_3$
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Ca} + 2\text{HCO}_3$

а также преобразованием альбита в каолинит:

- $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] + \text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4 + \text{Na}(\text{HCO}_3) + \text{H}_4\text{SiO}_4 + 3\text{H}$

Таблица 3.5 - Минеральный состав глин различных зон

Литология	Минеральный состав (вес, %)									
	Кальцит	Гипс	Гематит	Каолинит	Мусковит	Клинохлор	Смешанно- слойные	Альбит	Микроклин	Кварц
Зона А Зона элювиальных глин (44 образца)	-	-	$\frac{1 \div 3}{1}$	$\frac{1 \div 6}{4}$	$\frac{2 \div 8}{5}$	$\frac{5 \div 10}{4}$	$\frac{32 \div 40}{32}$	$\frac{18 \div 25}{21}$	$\frac{6 \div 10}{9}$	$\frac{21 \div 26}{24}$
Зона Б Зона элювированных глин (50 образцов)	-	-	$\frac{1 \div 2}{1}$	$\frac{5 \div 10}{8}$	$\frac{5 \div 12}{8}$	$\frac{3 \div 8}{5}$	$\frac{18 \div 26}{21}$	$\frac{21 \div 34}{28}$	$\frac{6 \div 14}{10}$	$\frac{18 \div 26}{19}$
Зона Г Зона сохранного массива (71 образец)	$\frac{5 \div 18}{12}$	$\frac{4 \div 8}{6}$	$\frac{1 \div 2}{1}$	-	$\frac{5 \div 10}{7}$	-	$\frac{12 \div 19}{16}$	$\frac{28 \div 32}{30}$	$\frac{8 \div 16}{11}$	$\frac{12 \div 23}{17}$

Примечание: в числителе указан диапазон изменения, в знаменателе – средние значения

Это также подтверждается исследованиями элементного анализа различных зон, проиллюстрированного на рисунке 3.16.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	SrO	MnO
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Зона элювиальных глин	Зона А	Бесструктурный элювий	2.41	4.59	19.73	62.25	0.087	1.66	0.57	6.16	0.027	1.25	0.015	0.143
Зона элювированных глин	Зона Б	Структурный элювий	2.23	3.85	17.66	54.81	0.062	1.56	0.46	4.57	0.020	2.15	0.019	0.260
Зона сохранныго массива	Зона Г		1.54	3.28	11.88	42.12	0.055	1.47	0.36	3.95	0.066	16.00	0.027	0.462

Рисунок 3.16. Элементный состав глин в оксидной форме

С практической точки зрения полученные результаты изменения минерального и химического состава дают основание сформулировать один из диагностических критериев выделения элювиальных и элювированных глин в составе профиля выветривания. Для глин Восточного Закамья установлено, что среднее содержание кальцита и гипса в материнской породе составляет 12 и 6 % соответственно (при минимальных значениях 5 и 4 %). В зоне элювированной глины в результате выветривания происходит полное выщелачивание кальцита и гипса. С практической точки зрения наиболее доступным в рамках производственных лабораторий является определение карбонатности глин. Исследование выборки из 90 образцов позволяет говорить о том, что содержание карбонатов менее 7 % следует считать граничным количественным критерием выделения элювированных глин.

3.5. Инженерно-геологические свойства и классификация песчаников

Физические и механические характеристики свойств песчаников (а также глин и карбонатов, приведенных в последующих разделах), оценивались на основании следующих исходных данных:

- 1) материалы инженерно-геологических изысканий, выполненных на исследуемой территории различными организациями в период с 1973 по 2003 гг.;
- 2) материалы инженерно-геологических изысканий, проводимых проектным институтом «Нефтехимпроект» г. Казань с период с 2019 по 2024 г.;
- 3) собственные лабораторные исследования автора, проводимых на образцах, отобранных в процессе обследования территории Восточного Закамья в лабораториях ООО «КазГеоЛаб» и Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Важнейшим вопросом при построении региональных таблиц является качество и количество фактического материала. Если рассуждать с точки зрения представительности, то материалы архивных изысканий позволяют выполнить сбор максимально большого количества данных. Однако при этом высок риск включения в выборку сведений, достоверность которых практически невозможно подтвердить. Другой проблемой является трудность выделения из общего количества данных по каждой зоне профиля выветривания. Большинство отчетов содержат только общее описание элювия, без установления точных границ зон и часто характеристики невыветрелой породы и выветрелых грунтов смешиваются в единую статистическую обработку. Тем не менее, в процессе диссертационного исследования удалось сделать некоторую статистически обоснованную выборку некоторых видов элювия и материнских пород.

Статистическая обработка фондовых данных по физико-механическим свойствам грунтов с целью составления региональных таблиц была выполнена на основании [133] с использованием средств Microsoft Excel.

Сбор фактического материала осуществлялся таким образом, чтобы в статистическую совокупность, предназначенную для обработки, были включены опытные данные, относящиеся к грунту одного и того же генезиса, типа, вида и разновидности, полученные единым методом при стандартных условиях проведения эксперимента.

Точность прогноза показатель механических свойств грунтов должны быть обусловлена прежде всего природными особенностями корреляции между свойствами грунтов, специфичными для данного регионального геолого-генетического комплекса. Это связано с существованием некоторого остаточного разброса истинных показателей состава, состояния и строения грунтов для разных инженерно-геологических элементов всего изучаемого комплекса. Характеристикой этого разброса является остаточная дисперсия нормативных характеристик.

В плане системности и достоверности гораздо более высокую точность имеют материалы инженерно-геологических изысканий, проводимых проектным институтом «Нефтехимпроект» г. Казань с период с 2019 по 2024 гг. при непосредственном руководстве автора диссертации. В этот период были проведены изыскания на 48 строительных площадках в различных частях исследуемой территории [82]. Бурение скважин, проведение статического зондирования, отбор образцов осуществлялись полевыми бригадами проектного института «Нефтехимпроект», часто при личном участии автора. Все лабораторные исследования были проведены в лаборатории ООО «КазГеоЛаб», оснащенной современным испытательным сертифицированным оборудованием. Благодаря этому, удалось собрать и систематизировать информацию по каждой зоне профиля выветривания.

В лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий «Казанского (Приволжского) федерального университета» проводились

специальные исследования, такие как минеральный и элементный состав, оптико-минералогические исследования, испытания на одноосное сжатие, морозостойкость и др.

В таблицах 3.6–3.10 приведены итоговые результаты обработки архивных данных физических свойств неизмененных песчаников. При этом статистическая обработка имеющихся материалов была выполнена с учетом установленного предельного значения коэффициента вариации $C_v=0,3$.

Таблица 3.6 - Показатели физико-механических свойств среднезернистых песчаников уржумского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973-2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	360	$\frac{0,11 \div 0,22}{0,16}$	0,22
Плотность минеральной части	г/см	411	$\frac{2,64 \div 2,73}{2,68}$	0,14
Пористость	%	244	$\frac{9,2 \div 17,5}{12,4}$	0,16
Степень влажности	д.е.	244	$\frac{0,16 \div 0,55}{0,28}$	0,18
Коэффициент фильтрации	м/сут	44	$\frac{0,3 \div 1,1}{0,5}$	0,29
Карбонатность	%	287	$\frac{13 \div 35}{24}$	0,22
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа	87	$\frac{6 \div 38}{24}$	0,30

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Таблица 3.7 - Показатели физико-механических свойств мелкозернистых песчаников уржумского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973-2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	661	$\frac{0,10 \div 0,26}{0,19}$	0,19
Плотность минеральной части	г/см	410	$\frac{2,66 \div 2,72}{2,68}$	0,19
Пористость	%	420	$\frac{10,0 \div 15,5}{11,8}$	0,14
Степень влажности	д.е.	420	$\frac{0,19 \div 0,48}{0,31}$	0,18
Коэффициент фильтрации	м/сут	64	$\frac{0,2 \div 1,0}{0,4}$	0,29
Карбонатность	%	180	$\frac{10 \div 36}{22}$	0,22
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа	112	$\frac{12 \div 24}{20}$	0,25

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Таблица 3.8 - Показатели физико-механических свойств крупнозернистых песчаников уржумского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973-2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	96	$\frac{0,04 \div 0,16}{0,10}$	0,29
Плотность минеральной части	г/см	130	$\frac{2,62 \div 2,69}{2,65}$	0,23
Пористость	%	80	$\frac{12,2 \div 18,5}{14,4}$	0,20
Степень влажности	д.е.	80	$\frac{0,10 \div 0,24}{0,20}$	0,18
Коэффициент фильтрации	м/сут	22	$\frac{0,5 \div 1,7}{0,9}$	0,29
Карбонатность	%	102	$\frac{7 \div 25}{20}$	0,40
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа	34	$\frac{14 \div 56}{33}$	0,36

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Таблица 3.9 - Показатели физико-механических свойств мелкозернистых песчаников верхнеказанского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973-2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	420	$\frac{0,11 \div 0,20}{0,17}$	0,22
Плотность минеральной части	г/см	552	$\frac{2,67 \div 2,70}{2,69}$	0,17
Пористость	%	302	$\frac{8,0 \div 14,1}{12,2}$	0,10
Степень влажности	д.е.	302	$\frac{0,18 \div 0,39}{0,29}$	0,13
Коэффициент фильтрации	м/сут	60	$\frac{0,2 \div 0,9}{0,3}$	0,21
Карбонатность	%	130	$\frac{7 \div 30}{18}$	0,20
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа	96	$\frac{10 \div 27}{22}$	0,29

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Таблица 3.10 - Показатели физико-механических свойств тонкозернистых песчаников верхнеказанского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973-2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	553	$\frac{0,15 \div 0,36}{0,25}$	0,28
Плотность минеральной части	г/см	360	$\frac{2,66 \div 2,73}{2,70}$	0,14
Пористость	%	446	$\frac{7,0 \div 13,1}{10,6}$	0,15
Степень влажности	д.е.	446	$\frac{0,14 \div 0,58}{0,36}$	0,30
Коэффициент фильтрации	м/сут	46	$\frac{0,1 \div 0,7}{0,2}$	0,24
Карбонатность	%	191	$\frac{4 \div 24}{12}$	0,21
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа	150	$\frac{7 \div 24}{18}$	0,22

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Анализ полученных данных, основанных на материалах архивных изысканий позволил сделать следующие выводы:

- существенной разницы в основных определяемых характеристиках между песчаниками казанского и уржумского ярусов выявлено не было, поэтому дальнейшая обработка результатов собственных исследований физико-механических свойств грунтов была выполнена без разделения по возрасту;
- в анализируемых материалах инженерно-геологических изысканий песчаники зон Г и В объединены в один инженерно-геологический элемент, что хорошо отслеживается по высокому разбросу как карбонатности, так и пределов прочности на одноосное сжатие.

В таблице 3.11 приведены результаты испытаний на одноосное сжатие песчаников различных литотипов.

Таблица 3.11 – Значения предела прочности на одноосное сжатие песчаников (на основании исследований автора 2019-2024 гг.)

	Литологический тип песчаников			
	крупнозернистые	среднезернистые	мелкозернистые	тонкозернистые
Значение характеристики	$\frac{54,3 \div 78,5}{66,2}$	$\frac{40,4 \div 66,4}{50,1}$	$\frac{22,2 \div 46,5}{37,8}$	$\frac{17,6 \div 31,2}{24,7}$
Количество определений	34	61	84	80
Коэффициент вариации	0,17	0,15	0,14	0,15

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение.

Исследования выполнены на приборе одноосного сжатия конструкции НПП «Геотек» на образцах цилиндрической формы в лаборатории механики грунтов Института геологии и нефтегазовых технологий.

Собрать статистически обоснованные данные о физико-механических свойствах песчаников зоны В рамках диссертационного исследования не удалось

вследствие недостаточного количества данных. Тем не менее, результаты испытаний 20 образцов показали, что их предел прочности на одноосное сжатие несколько ниже характерных для зоны Г и находится в интервале 13,2–46,3 МПа. Плотность находится в интервале 2,02–2,34 г/см³, пористость – 18,5–24,7 %. Карбонатность находится в пределах 4–14 % (среднее значение 7 %).

С инженерно-геологической точки зрения наиболее проблемной при выполнении инженерных изысканий принятии проектных решений является зона элювированных песчаников (зона Б). Неравномерность выщелачивания цемента и, соответственно, неоднородность прочностных и деформационных свойств грунтов, часто несистемная и потому труднопрогнозируемая, трудность отбора образцов ненарушенного сложения, отсутствие корреляционных зависимостей между данными полевых и лабораторных исследований часто приводят к усложнению проведения инженерно-геологических изысканий и принятию ошибочных решений [84]. Кроме того, маршрутные обследования показали, что в геологическом строении элювия по песчаникам именно песчаники зоны Б имеют преобладающие мощности, достигающие 20 м.

Несмотря на внешнюю схожесть выветрелых песчаников зоны Б с дисперсными песками, структурно-текстурные особенности таких массивов, описанные выше, определяют различия в реакции на механическое воздействие, которые и выражаются в существенном отклонении их свойств от ожидаемых [88].

Трудность отбора образцов ненарушенного сложения песчаников зоны Б при выполнении инженерно-геологических изысканий определяет возможность широкого использования полевых методов оценки прочностных и деформационных характеристик, в частности, метода статического зондирования как наиболее доступного и широко распространённого [86, 178, 179, 180, 181, 214, 215]. При этом эффективность интерпретации получаемых результатов свойств грунтов существенным образом зависит от наличия корреляционных зависимостей между параметрами зондирования и значениями определяемых характеристик. При изучении элювированных песчаников были

выполнены 180 точек статического зондирования на территориях нижнего и среднего плато на участках, где мощность элювированных песчаников была достаточной для получения статистически обоснованных данных. Статистическая обработка результатов проводилась отдельно для тонко-, мелко- и среднезернистых песчаников. Пример результата статистической обработки материалов приведен в Таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Результаты статистической обработки показателей свойств элювированных тонкозернистых песчаников по данным статического зондирования

Количество определений	Удельное лобовое сопротивление	Удельное лобовое сопротивление, среднее	Коэффициент вариации	Удельное сцепление	Удельное сцепление, среднее	Коэффициент вариации	Угол внутр. трения,	Угол внутр. трения, средний	Коэффициент вариации	Модуль деформации,	Модуль деформации, средний	Коэффициент вариации
	шт	МПа		МПа	кПа		кПа	градус		градус	МПа	
2464	2,3	14,4	0,27	16	32	0,12	16	22	0,10	7	14,5	0,27
				59			30			21		

На основании полученных результатов были построены отдельные корреляционные зависимости для модуля деформации E , угла внутреннего трения, удельного сцепления, показателя текучести и др. Пример таких зависимостей показан на Рисунке 3.17.

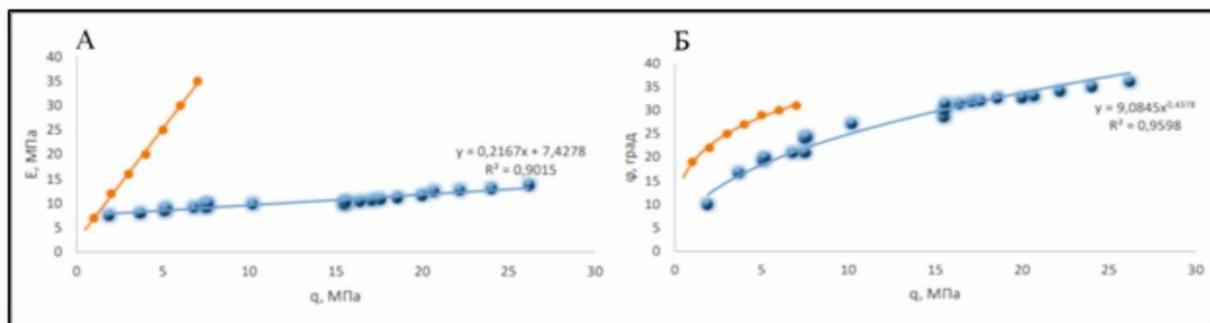


Рисунок 3.17. Экспериментальные (синие линии) и нормативные (красные линии) зависимости модуля деформации E (А) и угла внутреннего трения (Б) от удельного лобового сопротивления зондированию q для тонкозернистого песчаника

Наиболее существенные расхождения с нормативными имеют деформационные значения характеристик. Несмотря на наличие отдельных высоких значений удельного лобового сопротивления до 27 МПа, максимальное значение модуля деформации не превышает 18 МПа. Это хорошо подтверждается испытаниями массивов песчаников плоскими и винтовыми штампами.

На основании анализа данных статического зондирования была разработана таблица классификации песчаников в зависимости от нормативных значений удельного сопротивления внедрению конуса q_c (табл. 3.13).

Таблица 3.13 – Классификация песчаников по данным статического зондирования

Песчаники	Разновидность грунта при q_c , МПа		
	Очень плотные и плотные	средней плотности	низкой плотности
среднезернистые независимо от влажности	>16	7-16	<7
мелкозернистые независимо от влажности	>14	6-14	<6
тонкозернистые: неводонасыщенные	>12	4-12	<4
водонасыщенные	>10	3-10	<3

Сравнение с аналогичными по гранулометрическому составу песками показывает смещение значений удельного сопротивления практически в каждой области в большую сторону, что объясняется наличием цемента в структуре песчаников. Наличие цемента в структуре песчаника, пусть и по большей части слабого, приводит к тому, что внедрение зонда в массив становится более сложным, что и находит отклик в увеличении значения удельного лобового сопротивления. При этом реальная плотность оказывается ниже, а деформативность выше ожидаемых. В этой связи особенно опасным с практической точки зрения является расчет несущей способности и осадок забивных свай по данным статического зондирования, т.к. в процессе забивки

свай происходит разрушение цемента и, как следствие, значительно ухудшаются прочностные и деформационные свойства грунтового массива.

Это хорошо иллюстрируется исследованием, опубликованном в работе [89]. На опытной площадке, расположенной на территории проектируемого завода в г. Нижнекамск, были выполнены испытания свай вдавливающей статической нагрузкой. Фундаментное решение элементов каркаса зданий и сооружений, промышленных установок было реализовано в основном с помощью железобетонных забивных свай длиной 6–12 м. При этом в качестве опорного слоя для свай были выбраны преимущественно элювиальные среднепермские песчаники.

Инженерно-геологический разрез площадки с расположением испытанных свай показан на рисунке 3.18.

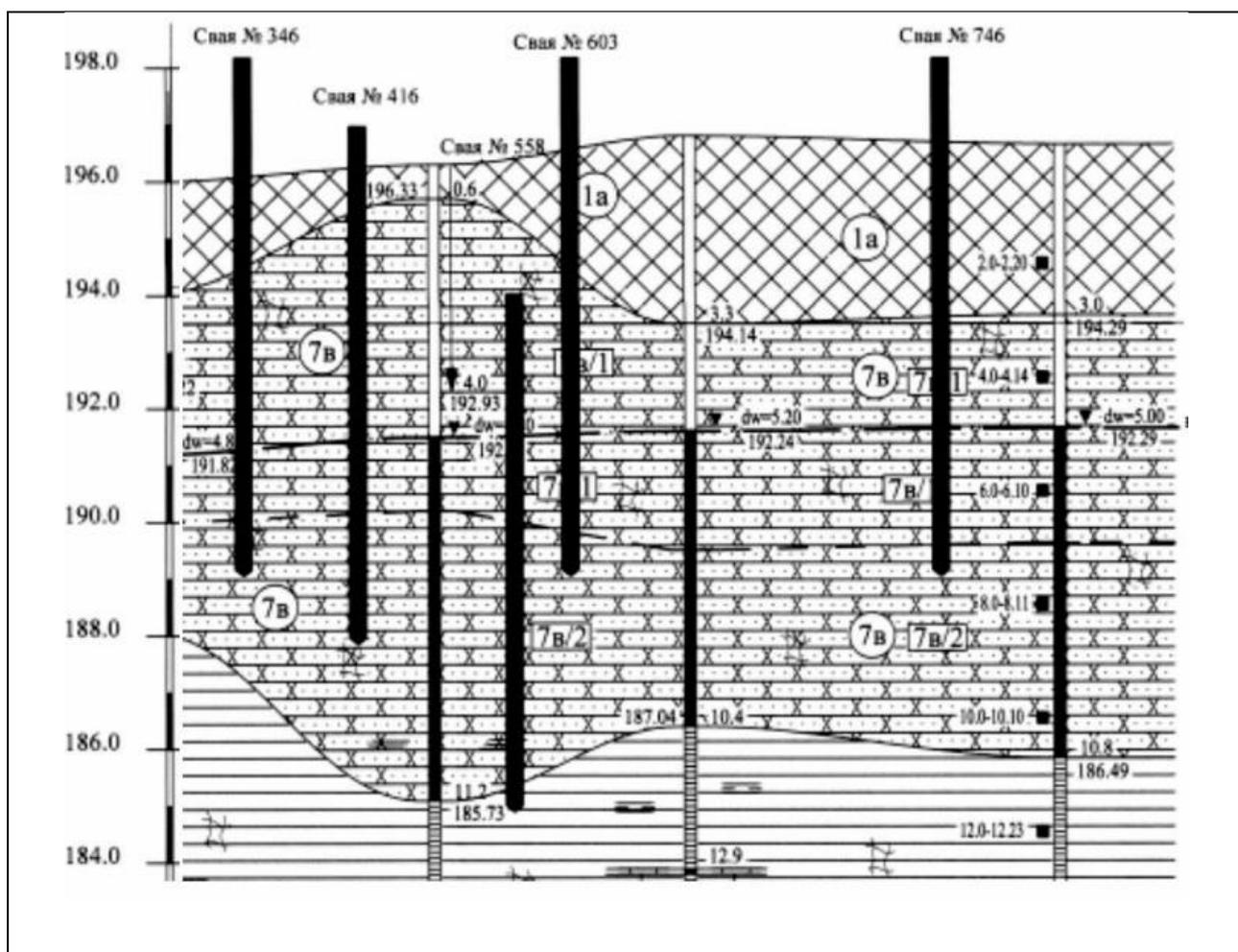


Рисунок 3.18. Инженерно-геологический разрез с расположением испытываемых свай: 1а- насыпные грунты, 7в – элювиальные песчаники

При этом несущая способность свай была рассчитана как на основании физико-механических характеристик, определенных в лабораторных условиях, так и на основании данных статического зондирования в соответствии с действующими строительными нормами и правилами. Однако после пробной забивки и испытаний свай статической нагрузкой, оказалось, что около половины свай показали несущую способность ниже расчетной на 25–40 % (Таблица 3.14). Подобного рода несоответствия являются весьма частыми в практике возведения объектов на территории Нижнекамского промышленного узла, особенно в тех случаях, когда основаниями свай являются песчаники зоны бесструктурного элювия [89].

Таблица 3.14 – Значения частных предельных значений сопротивления свай F_d

№ свай	F_d , кН		
	по результатам статического зондирования	по результатам «расчетного» метода	На основании испытаний статической нагрузкой
346	1260	1340	760
416	1190	1310	890
603	875	910	700
746	1070	990	750

Причиной подобного отклонения на наш взгляд является то, что используемые в нормативных документах зависимости, применяемые для расчета свай, содержат множество корреляционных коэффициентов, полученных путем статистической обработки материалов для всей территории Российской Федерации и опирающихся на результатах испытаний песков четвертичного возраста. Кроме того, отдельных зависимостей для специфических, в частности, элювиальных грунтов, нормативы не содержат.

Несмотря на схожесть выветрелых песчаников зоны бесструктурного элювия с дисперсными четвертичными песками, структурно-текстурные особенности таких массивов, описанные выше, определяют различия в реакции на механическое воздействие, которые и выражается в существенном отклонении их свойств от ожидаемых [89].

Дальнейший анализ материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных в юго-восточной части Республики Татарстан проектным институтом АО «Нефтехимпроект» ПАО «Татнефть», показал, что для элювиальных песчаников использование нормативных таблиц действующих сводов правил [144–147] часто приводит к некорректной оценке несущей способности свай и неправильному выбору проектных решений. Единственным путем решения этой проблемы является создание региональных корреляционных уравнений, основанных на анализе имеющихся данных статического зондирования.

Для территории Восточного Закамья автором были собраны и проанализированы данные 362 отчетов, содержащих сведения о результатах статического зондирования элювиальных песчаников. В результате статистической обработки были отобраны 1762 точки статического зондирования, в которых мощность элювиальной толщи песчаников позволяла рассматривать результаты статического зондирования как имеющих достаточную представительность и системность.

В результате были построены таблицы нормативных значений модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления (Таблицы 3.15, 3.16, 3.17), которые могут рассматриваться как региональные и использоваться при интерпретации данных статического зондирования.

Таблица 3.15 - Нормативные значения модуля деформации для песчаников по данным статического зондирования

Вид грунта	Нормативный модуль деформации E_n при q_c , МПа													
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
среднезернистые независимо от влажности	12	15	18	19	21	22	23	25	25	26	28	30	-	-
мелкозернистые независимо от влажности	11	14	16	16	18	20	21	22	23	24	25	26	28	-
тонкозернистые: неводонасыщенные	8	9	10	11	12	12	13	13	14	15	16	17	18	21
водонасыщенные	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13	13	15	16	18

Таблица 3.16 - Нормативные значения угла внутреннего трения для песчаников по данным статического зондирования

Вид грунта	Нормативный угол внутреннего трения φ_n при q_c , град.									
	2	3	4	5	9	13	17	21	25	28
среднезернистые независимо от влажности	22	23	25	26	27	27	29	33	-	-
мелкозернистые независимо от влажности	21	23	23	24	25	26	28	30	32	-
тонкозернистые: неводонасыщенные	17	20	22	23	25	26	27	27	29	30
водонасыщенные	16	18	21	21	23	24	25	26	27	29

Таблица 3.17 - Нормативные значения удельного сцепления для песчаников по данным статического зондирования

Вид грунта	Нормативное удельное сцепление c_n при q_c , град.									
	2	3	4	5	9	13	17	21	25	28
среднезернистые независимо от влажности	14	17	20	25	28	30	33	35	-	-
мелкозернистые независимо от влажности	15	18	21	27	32	34	36	37	38	-
тонкозернистые: неводонасыщенные	17	20	24	30	35	42	48	52	57	59
водонасыщенные	16	18	22	28	34	40	46	51	55	57

При выполнении инженерных изысканий на территориях, сложенных элювиальными грунтами, сложность вызывает их диагностика, особенно в плане их отличия от песков. Так как отбор образцов ненарушенного сложения часто бывает невозможен, перспективным является идентификация разновидностей грунтов на основании данных статического зондирования [88]. Подобная процедура впервые в изыскательской практике была предложена М.П. Бегеманном (1965). В настоящий момент наиболее популярным для классификационного выделения грунтов является определение фрикционного отношения R_f , равному отношению сопротивления по боковой поверхности f_s к сопротивлению по лобовой поверхности q_c .

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \quad (3.1)$$

В рамках диссертационного исследования была собрана база данных статического зондирования, включающая материалы зондирования 578 строительных объектов с общим количеством точек зондирования, равным 8421. При этом сбор осуществлялся для всех проходимых инженерно-геологических элементов с дальнейшей их сортировкой в соответствии с их классификационной принадлежностью.

На основании полученных данных была построена диаграмма рассеяния 19 разновидностей грунтов, показанная на рисунке 3.19.

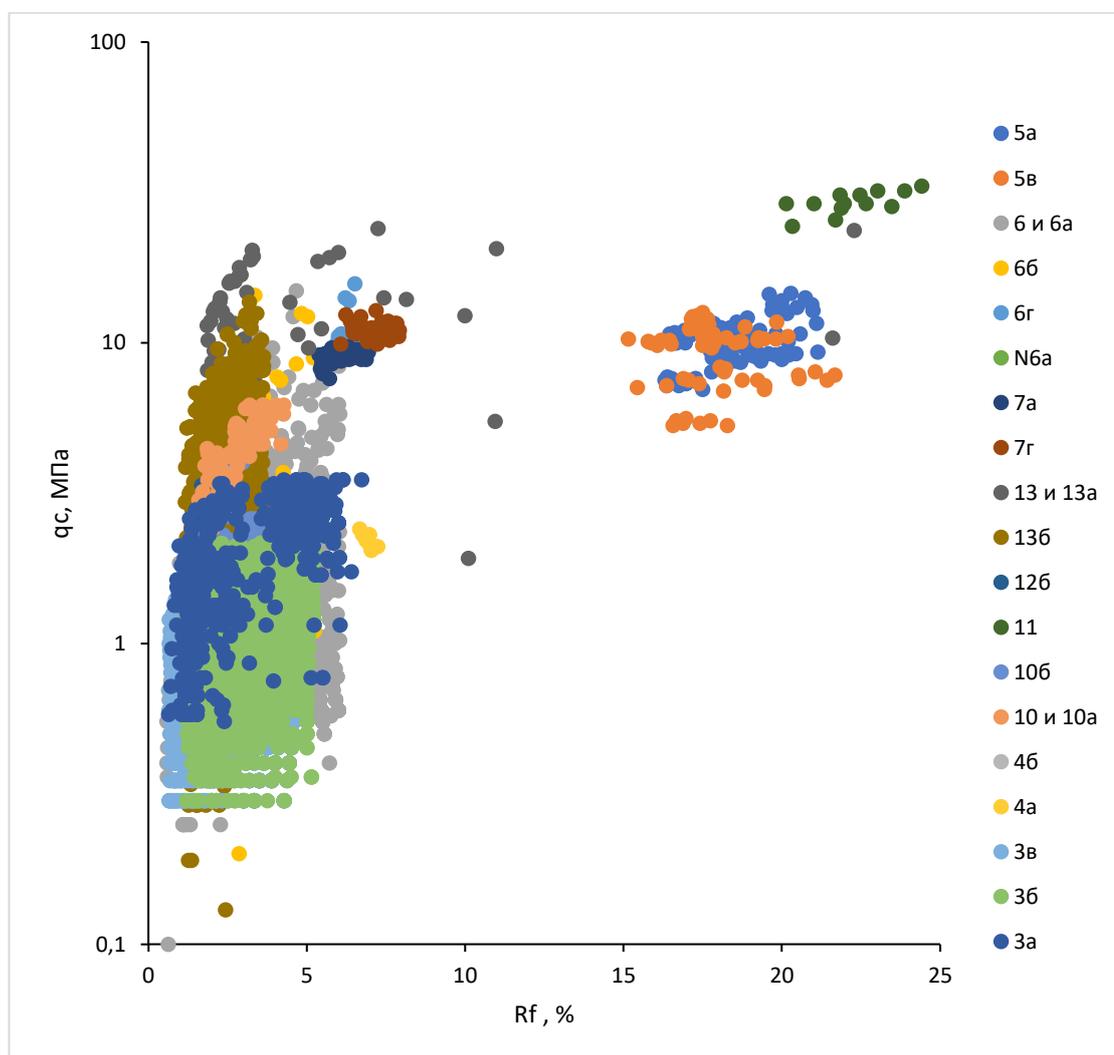


Рисунок 3.19. Экспериментальные данные испытаний статическим зондированием грунтовых массивов на территории Восточного Закамья

Несмотря на наличие четко выделяемых трендов, использование полученных данных в практических целях невозможно вследствие большого количества пересекающихся зон. Поэтому в дальнейшем была произведена

сужение диапазонов для каждой разновидности с помощью построения гистограмм распределения, пример которой приведен на рисунке 3.20.

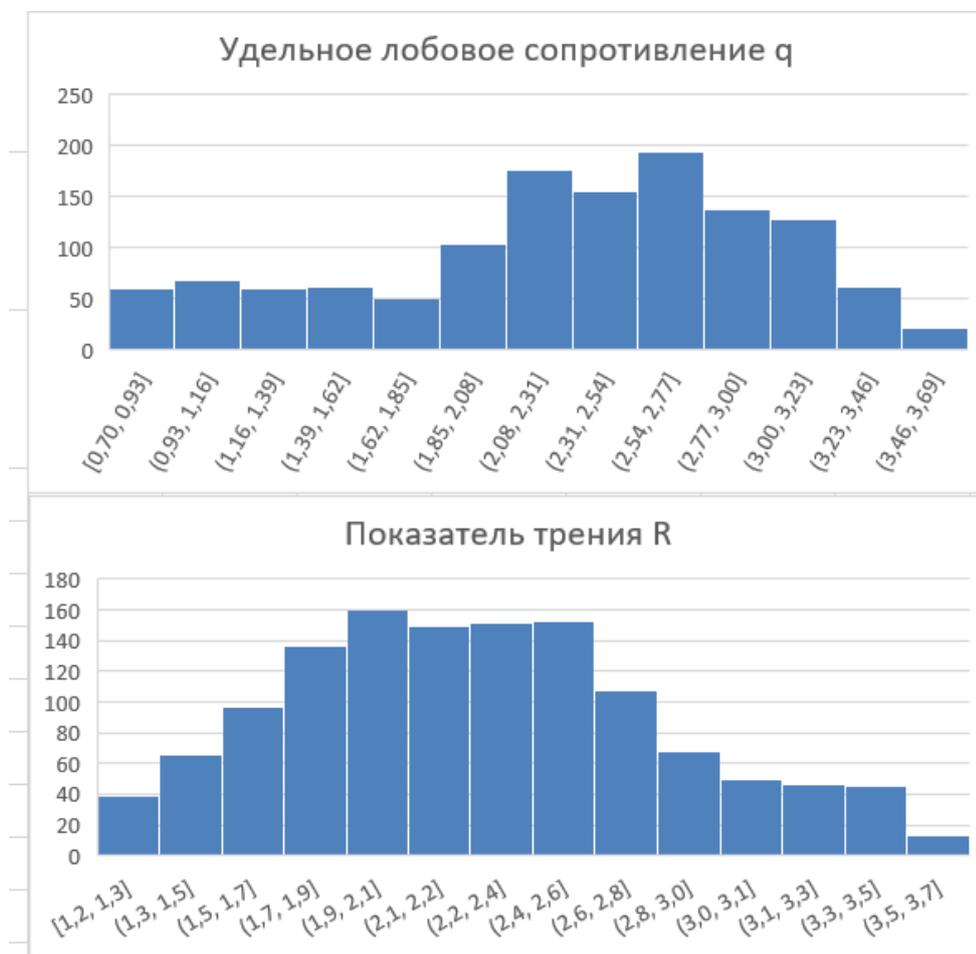


Рисунок 3.20. Гистограмма распределения удельного сопротивления внедрению зонда и показателя трения

На основании полученных данных была построена диаграмма рассеяния, на которой четко прослеживается тенденция для разделения грунтов по данным статического зондирования (рисунок 3.21).

Учитывая специфику исследования, на диаграмму были вынесены только разновидности элювиальных грунтов (элювиальный песок, элювированный песчаник, элювиальная глина, элювированная глина, карбонатная мука, дресвяно-щебнистый грунт), а также несколько разновидностей песков, глина сохранного массива (глина Р) и глина неэлювиального генезиса (глина Q).

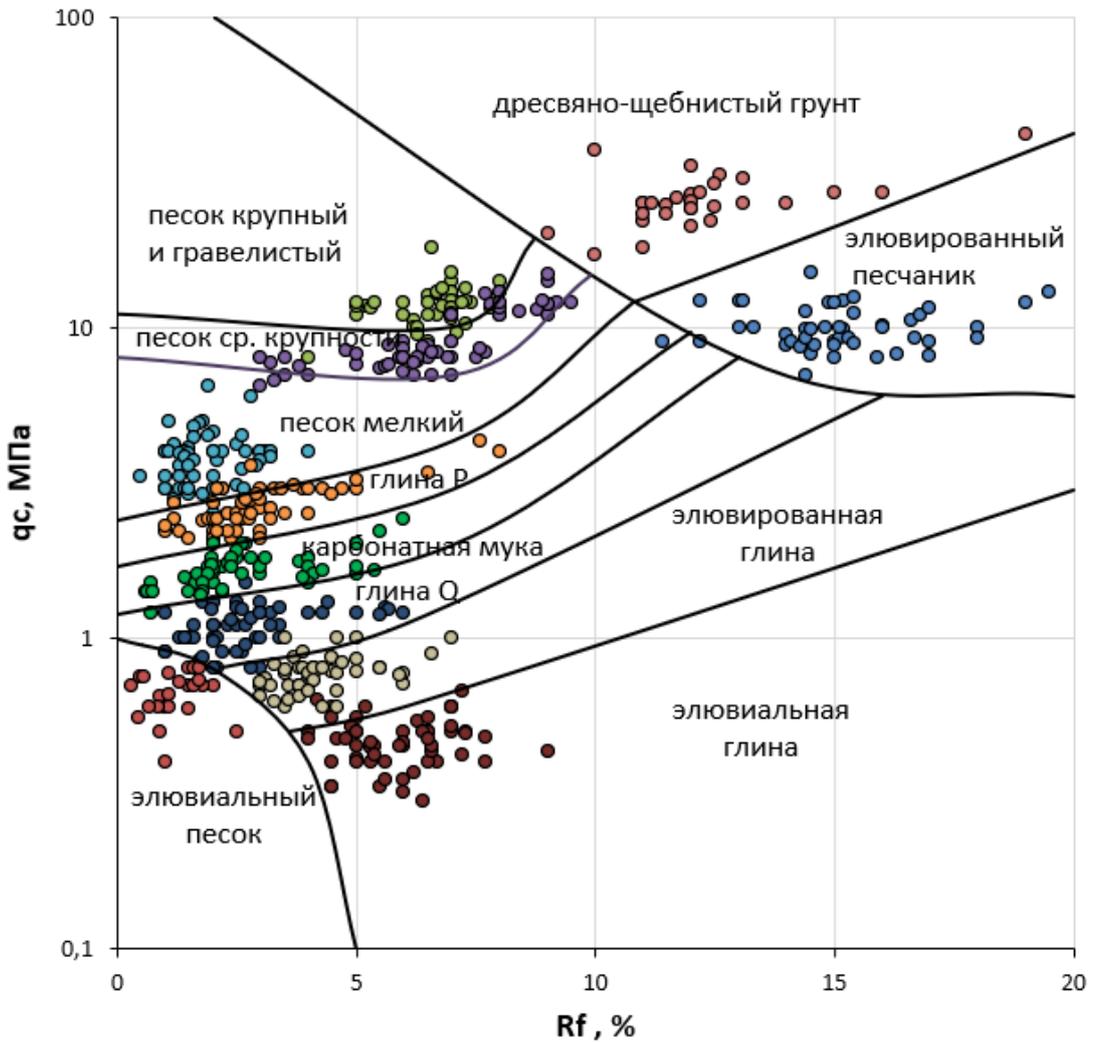


Рисунок 3.21. Сводная диаграмма рассеяния для грунтов территории Восточного Закамья

Как видно, элювированные песчаники занимают достаточно четкую выраженную зону, характеризующуюся диапазоном 7,5–15 МПа для удельного сопротивления грунта внедрению конуса и 11,4–19,5 % для фрикционного отношения. Для элювиального песка эти значения составляют 0,4–0,9 МПа и 0,3–2,5 % соответственно. Таким образом, метод статического зондирования грунтов может быть эффективно использован для выделения песчаников в толще грунтового массива.

В таблице 3.18 приведены значения q_c и R_f для песков и песчаников территории Восточного Закамья.

Таблица 3.18 - Идентификация песчаников и песков

Возможный вид грунта	Выборка, n	Удельное сопротивление грунта внедрению конуса q_c , МПа	Фрикционное отношение R_f , %	$\frac{C_v(q_c)}{C_v(R_f)}$
Песок крупный и гравелистый	46	$\frac{8-18}{11,7}$	$\frac{4,0-8,0}{6,6}$	$\frac{0,14}{0,13}$
Песок средней крупности	56	$\frac{6,5-14,8}{9,2}$	$\frac{3,0-9,5}{6,5}$	$\frac{0,23}{0,27}$
Песок мелкий	56	$\frac{2,5-6,5}{3,8}$	$\frac{0,5-4,0}{1,9}$	$\frac{0,20}{0,39}$
Элювированный песчаник	47	$\frac{7,5-15,0}{10,0}$	$\frac{11,4-19,5}{15,2}$	$\frac{0,16}{0,11}$
Элювиальный песок	29	$\frac{0,4-0,9}{0,68}$	$\frac{0,3-2,5}{1,24}$	$\frac{0,17}{0,43}$

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение (выборочное); C_v – коэффициент вариации

Построенная диаграмма была сопоставлена с классической диаграммой Робертсона (Рисунок 3.22). В целом, прослеживаются общие тренды положения зон в зависимости от пористости, крупности частиц, содержания органического вещества, но полученная диаграмма имеет гораздо более конкретный характер.

Например, элювиальный песок, имеющий как правило рыхлое сложение и невысокую плотность, соответствует зоне 1 на диаграмме Робертсона – чувствительному тонкодисперсному грунту. В зону 3, соответствующие согласно классификации Робертсона глине, попали и элювиальные и элювированные глины. При этом хорошо отслеживается тенденция, что элювиальные глины, обладающие более высоким по сравнению с элювированными глинами содержанием органического вещества, ближе смещены к зоне 2 (органический грунт). Вся карбонатная мука ложится в зону 6 – песчаный ил–глинистый ил. Зона элювированного песчаника, имеющему высокие значения сопротивлений внедрению конуса и фрикционного отношения, соответствует зоне 11 – очень твердому тонкодисперсному грунту. Зона 12 на диаграмме Робертсона – песок–глинистый песок (переуплотненный грунт) соответствует дресвяно-щебнистому грунту, в качестве которого на

исследуемой территории выступает карбонатный элювий зоны Б, представленный обломками карбонатных пород с глинистым цементом.

Существенное расхождение с диаграммой Робертсона имеют глины сохранного массива, пески мелкие, средней крупности и гравелистые. Все они попадают в одну зону 7 (супесь–песчанистый ил), что конечно же не слишком логично. На построенной в ходе диссертационного исследования диаграмме рассеяния каждый грунт имеет свою идентификационную зону.

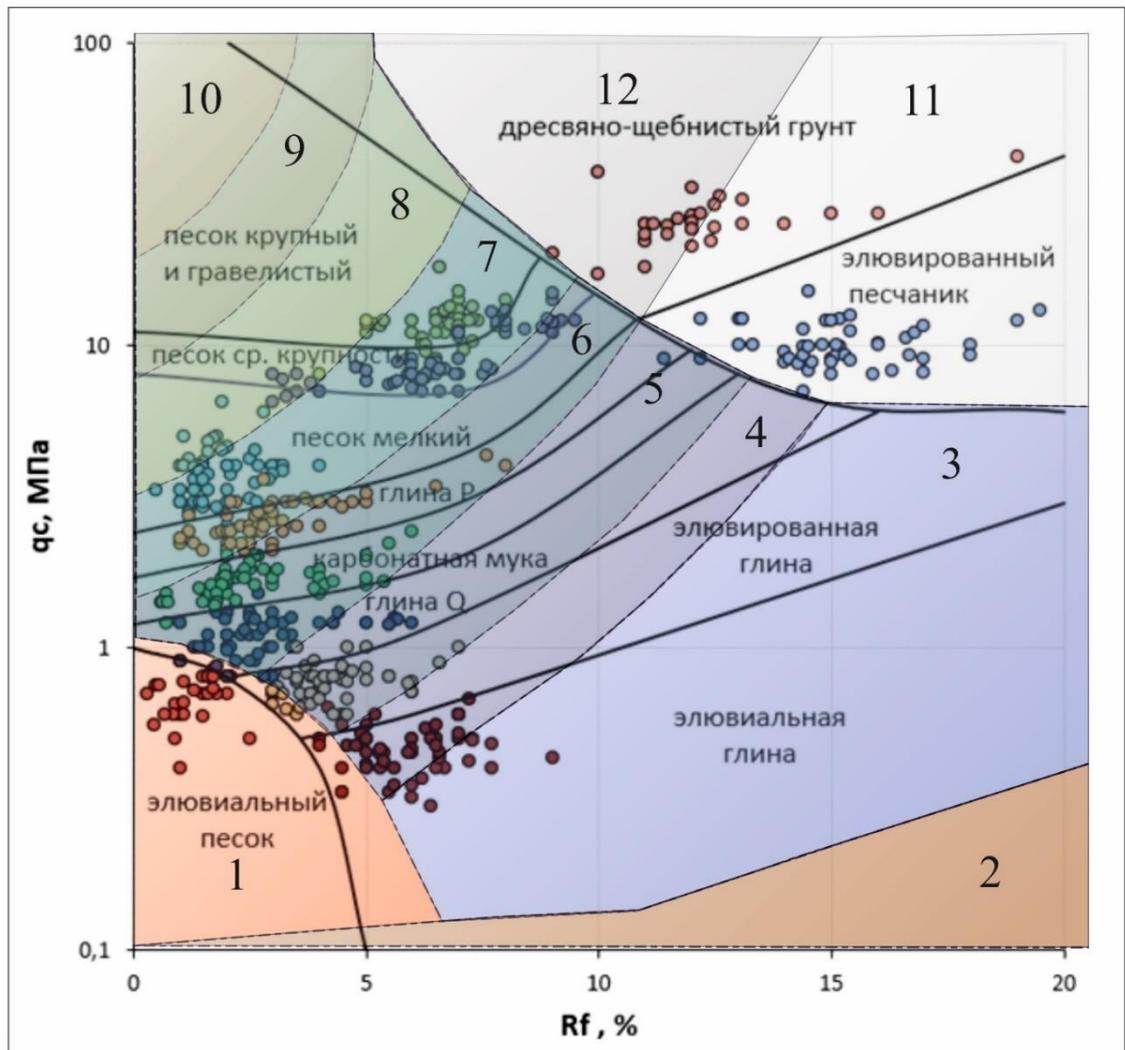


Рисунок 3.22. Диаграмма Робертсона, совмещенная с диаграммой рассеяния грунтов территории Восточного Закамья

1- чувствительный тонкодисперсный грунт; 2 – органический материал; 3 – глина; 4 – илистая глина-глина; 5 – глинистый ил-илистая глина; 6 – песчаный ил-глинистый ил; 7 – супесь-песчанистый ил; 8 – песок-супесь; 9 -песок; 10 – гравелистый песок-песок; 11 – очень твердый тонкодисперсный грунт; 12 – песок-глинистый песок (переплотненный грунт)

3.6. Инженерно-геологические свойства глин

Как и для песчаников, физико-механические свойства глин оценивались на как на основании материалов архивных изысканий, так и собственных исследований отобранных в процессе маршрутного обследования образцов.

Статистическая обработка архивных данных с целью составления региональных таблиц была выполнена, как и для песчаников, на основании «Руководства по составлению региональных таблиц нормативных и расчетных показателей свойств грунтов», ПНИИС Госстроя СССР, Москва, «Стройстандарт» 1981 г [133] с использованием средств Microsoft Excel.

Как и при исследовании свойств песчаников, основной трудностью при составлении выборки данных являлось трудность сбора данных по каждой зоне профиля выветривания. Анализируемые отчеты по инженерно-геологическим изысканиям часто не содержат достоверных сведений о точной идентификации зон выветривания. Характеристики невыветрелой породы и выветрелых грунтов смешиваются в единую статистическую обработку.

Тем не менее, в процессе диссертационного исследования удалось сделать статистически обоснованную выборку характеристик неизмененных материнских глин. В большинстве отчетов глины сохранный массива достаточно точно диагностированы. В описании таких глин встречаются такие термины, как «плотная», «аргиллитоподобная», «твердая». При описании цвета часто используются слова «кирпично-красная», «шоколадная» и т.п. Глинам сохранный массива характерны низкие значения коэффициента пористости, высокие значения прочностных и деформационных характеристик.

В таблице 3.19 приведены итоговые результаты обработки архивных данных физико-механических свойств глин сохранный массива. Угол внутреннего трения и удельного сцепления определялись на основании испытаний на прямой срез, модуль деформации – на основании компрессионных испытаний.

Таблица 3.19 – Показатели физико-механических свойств глин (зона Г) уржумского терригенного комплекса (на основании архивных материалов изысканий 1973–2023 гг.)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	921	$\frac{0,10 \div 0,33}{0,19}$	0,16
Число пластичности	д.е.	708	$\frac{0,18 \div 0,31}{0,24}$	0,22
Влажность на границе текучести	д.е.	708	$\frac{0,28 \div 0,66}{0,48}$	0,20
Влажность на границе раскатывания	д.е.	708	$\frac{0,13 \div 0,33}{0,23}$	0,24
Показатель текучести	д.е.	708	$\frac{\leq 0 \div 0,28}{0,17}$	0,23
Плотность минеральной части	г/см	1190	$\frac{2,68 \div 2,81}{2,73}$	0,18
Плотность грунта	г/см ³	634	$\frac{1,77 \div 2,21}{1,96}$	0,19
Коэффициент пористости	д.е.	634	$\frac{0,4 \div 0,81}{0,67}$	0,19
Угол внутреннего трения	град	421	$\frac{14 \div 28}{23}$	0,22
Удельное сцепление	кПа	421	$\frac{23 \div 70}{55}$	0,20
Компрессионный модуль деформации	МПа	682	$\frac{14 \div 30}{23}$	0,21

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение

Что касается элювированных и элювиальных глин, то выполнить статистически обоснованный анализ выполнить не удалось. Несмотря на то, что общее количество собранных данных по глинам, обозначенных в архивных отчетах как элювий, превысило 4,5 тысячи, при построении корреляционных зависимостей значения коэффициентов корреляции имели крайне низкие значения. Выполненный анализ показал, что основными причинами этого является следующее:

- в анализируемых материалах инженерно-геологических изысканий отсутствует четкая идентификация выветрелых грунтов;
- к элювию по пермским породам часто отнесены глинистые грунты

другого генезиса и возраста;

- в большинстве отчетов отсутствует определение гранулометрического состава, карбонатности и других характеристик, обязательных к определению для элювиальных грунтов, которые могли бы послужить диагностическими критериями отнесения глин к той или иной зоне профиля выветривания.

По этой причине в рамках диссертационного исследования было принято решение выполнить лабораторные исследования глин, отобранных лично.

Физико-механические свойства глин были изучены на 53 образцах элювированных глин и на 31 образце глин зоны сохранного массива. На рисунках 3.23 и 3.24 приведены зависимости нормативных значений одометрического модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления от коэффициента пористости. Модуль деформации был определен на основании лабораторных компрессионных испытаний, в качестве исходных данных для статистической обработки был выбран одометрический модуль деформации без каких-либо переходных коэффициентов. Для практических целей одометрический модуль деформации может быть приведен к штамповому на основании сопоставительных компрессионных и штамповых испытаний.

Видно, что элювированные глины имеют существенно меньшие значения прочностных и деформационных характеристик по сравнению с неизменными глинами.

На всех трех графиках наблюдается смещение диапазона по коэффициенту пористости для элювированных глин, что объясняется меньшей их плотностью по сравнению с глинами зоны сохранного массива. В среднем для большинства проб диапазон изменения коэффициента пористости составляет от 0,68 до 0,93 (46 образцов из 53). Таким образом, можно готовить об еще одном количественном критерии выделения элювиальных глин от зоны сохранного массива: если значение коэффициента пористости меньше 0,68, то такая глина

должна быть отнесена к материнской породе.

Для всех параметров также характерен большой разброс значений, что объясняется неоднородностью преобразований массива элювированных глин в результате выветривания.

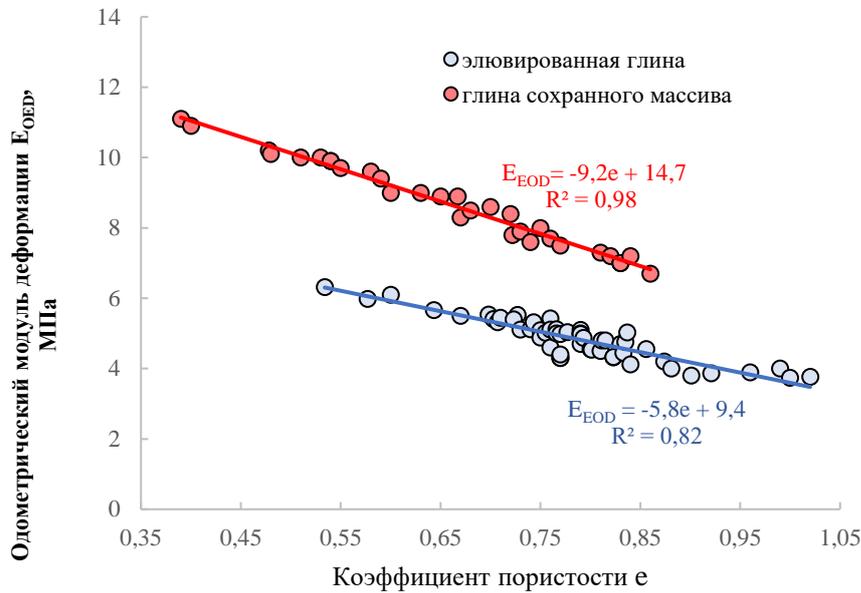


Рисунок 3.23. Зависимость нормативных значений одометрического модуля деформации глин от коэффициента пористости

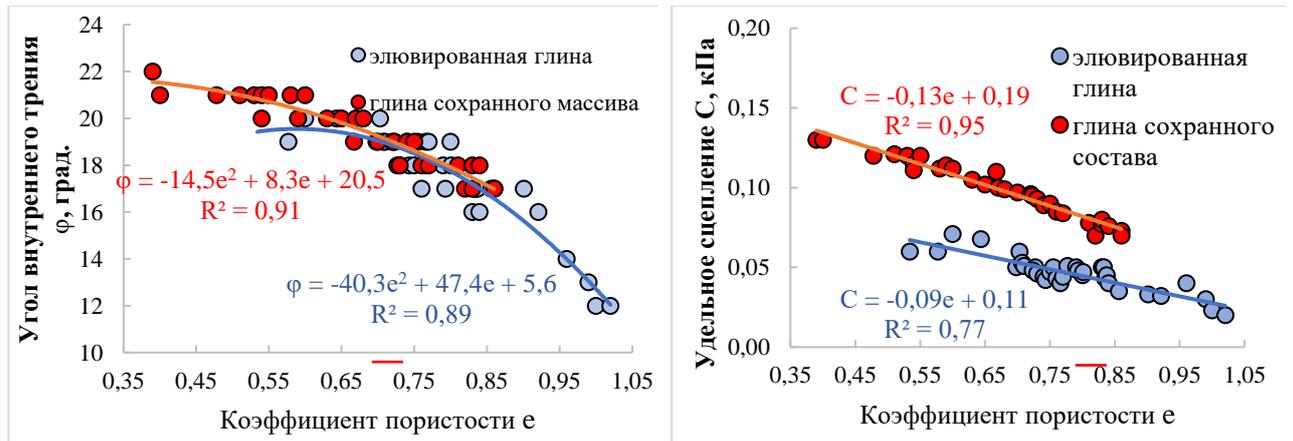


Рисунок 3.24. Зависимость нормативных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления глин от коэффициента пористости

На основании полученных зависимостей была построена таблица региональных нормативных значений механических характеристик для глин элювированной зоны и зоны сохранный массива (Таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Региональные нормативные значения одометрических модулей деформации E_{oedn} , МПа, углов внутреннего трения φ_n , град, и удельных сцеплений c_n , кПа глинистых грунтов

Наименование грунта	Обозначение характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Элювированная глина	c_n	-	66	57	49	40	32	-
	φ_n	-	19	19	18	17	14	-
	E_{oedn}	6,8	6,2	5,6	5,0	4,5	3,9	3,3
Глина зоны сохранного массива	c_n	128	115	102	89	75	-	-
	φ_n	21	21	20	19	17	-	-
	E_{oedn}	10,6	9,7	8,8	7,8	6,9	6,0	5,1

Результаты физико-механических свойств элювированных глин, полученных в результате собственных испытаний, приведены в таблице 3.21.

Полевые исследования глинистых массивов статическим зондированием показали, что по аналогии с песчаниками диаграмма рассеяния может быть использована для предварительного выделения зон в глинистых массивах. На рисунке 3.17 можно достаточно четко выделить зоны элювированных и элювиальных глин, значительно отличающихся от глин сохранного массива, особенно по значениям удельного сопротивления грунта внедрению конуса, которое для неизмененных глин находится в диапазоне 2,1–4,3 МПа, для элювированных глин в диапазоне 0,6–1,0 МПа, а для элювиальных глин – 0,3–0,7 МПа.

В таблице 3.22 приведены значения q_c и R_f для выделенных литологических типов глин территории Восточного Закамья.

Таблица 3.21 – Показатели физико-механических свойств элювированных глин (зона Б) уржумского терригенного комплекса (на основании материалов собственных испытаний автора)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	53	$\frac{0,14 \div 0,36}{0,20}$	0,14
Число пластичности	д.е.	53	$\frac{0,18 \div 0,36}{0,23}$	0,15
Влажность на границе текучести	д.е.	53	$\frac{0,27 \div 0,51}{0,40}$	0,13
Влажность на границе раскатывания	д.е.	53	$\frac{0,13 \div 0,25}{0,20}$	0,14
Показатель текучести	д.е.	53	$\frac{<0 \div 0,22}{0,15}$	0,23
Плотность минеральной части	г/см	53	$\frac{2,7 \div 2,76}{2,73}$	0,11
Плотность грунта	г/см ³	51	$\frac{1,72 \div 2,01}{1,87}$	0,15
Коэффициент пористости	д.е.	51	$\frac{0,52 \div 1,03}{0,78}$	0,15
Угол внутреннего трения	град	37	$\frac{14 \div 19}{17}$	0,22
Удельное сцепление	кПа	37	$\frac{32 \div 66}{48}$	0,19
Компрессионный модуль деформации	МПа	44	$\frac{3,9 \div 6,2}{4,8}$	0,18

Таблица 3.22 - Идентификация разновидностей грунтов по удельному сопротивлению грунта внедрению конуса q_c и фрикционному отношению R_f (глубина исследования до 20 м)

Возможный вид грунта	Выборка, n	Удельное сопротивление грунта внедрению конуса q_c , МПа	Фрикционное отношение R_f , %	$\frac{C_v(q_c)}{C_v(R_f)}$
Среднепермская глина	56	$\frac{2,1 \div 4,3}{2,7}$	$\frac{1,0 \div 8,0}{3,0}$	$\frac{0,17}{0,48}$
Четвертичная глина	52	$\frac{0,8 \div 1,5}{1,1}$	$\frac{1,0 \div 6,0}{2,8}$	$\frac{0,14}{0,42}$
Элювированная глина	47	$\frac{0,6 \div 1,0}{0,8}$	$\frac{3,0 \div 7,0}{4,3}$	$\frac{0,14}{0,22}$
Элювиальная глина	56	$\frac{0,3 \div 0,7}{0,5}$	$\frac{4,0 \div 9,0}{5,9}$	$\frac{0,18}{0,18}$

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение (выборочное); C_v – коэффициент вариации

Выводы по третьей главе

1. На территории Восточного Закамья элювиальные терригенные грунты имеют широкое распространение, повсеместно покрывают водораздельные пространства на среднем и нижнем плато и практически не встречаются на участке верхнего плато. Мощность элювия по терригенным породам увеличивается с понижением абсолютных высот, достигая значения 10 м в северном направлении в сторону р. Кама, на западе в сторону долины р. Шешма, на востоке в сторону р. Ик.

3. Основным движущим процессом преобразования песчаников является выщелачивание кальцитового цемента. Особенностью процесса выветривания песчаников казанского яруса является относительная сохранность положения минеральных частиц в объеме породного массива, неизменность их структурных и текстурных особенностей, приобретенных на стадии седиментации [84].

4. Гипергенные преобразования глин обусловлены как физическим выветриванием под действием отрицательных температур, так и химическими процессами выщелачивания инфильтрационными водами доломита, кальцита и гипсов из дезинтегрированных глин и последующей реакцией гидролиза полевых шпатов.

5. Инженерно-геологическая характеристика массивов терригенных элювиальных грунтов может быть выполнена только с выделением зон гипергенных преобразований с контрастными отличиями классификационной принадлежности, свойств, минерального и химического состава.

6. В качестве диагностических критериев выделения элювированных глин в профиле выветривания предложено значение карбонатности и коэффициента пористости.

7. Полевые исследования грунтовых массивов показали, что метод статического зондирования грунтов может быть эффективно использован для предварительной идентификации зон профилей выветривания песчаников и глин.

ГЛАВА 4. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

4.1. Пространственное распространение и факторы формирования карбонатных элювиальных грунтов

Во второй главе диссертации была отмечена ступенчатость строения водоразделов территории Восточного Закамья, обусловленная тектоно-климатическими этапами развития территории. Локально эти ступени совпадают с пластами прочных горных пород (известняков, песчаников), поэтому являются бронированными. Высокое плато является наиболее четко выраженной ступенью, развитой на абсолютных высотах 280–385 м. Этот ярус рельефа является денудационным, срезающим под один уровень различные слои пород уржумского и казанского ярусов верхней перми [91, 113, 114].

Начиная с неогенового периода, данная территория подвергалась поднятию, в результате чего на поверхности обнажились карбонатно-терригенные отложения казанского яруса. Различная интенсивность воздымания блоков кристаллического фундамента Южно-Татарского свода привела к формированию пологохолмистого рельефа. Для него характерны выровненные вершины водоразделов с террасированными склонами, разделенные небольшими речными долинами.

Эти выположенные вершины водоразделов на протяжении всего четвертичного периода находились в условиях поверхностной зоны гипергенеза. Неоднократные изменения умеренного и холодно-влажного климата, а также чередование ландшафтных обстановок способствовали развитию процессов континентального литогенеза гумидного типа [122].

В периоды похолоданий, связанных с развитием Валдайского оледенения, выположенные вершины водоразделов подвергались интенсивному морозному выветриванию. Это способствовало формированию относительно мощной зоны дезинтеграции в верхней части разреза данной территории [23].

Одновременно с этим активно протекали процессы перемещения пород под воздействием водно-денудационных факторов. Напротив, в эпохи кратковременных потеплений физическое выветривание ослабевало, а на первый план выходили процессы химического выветривания [23].

На рисунках 4.1 и 4.2 показана карта мощности и геологический профиль распространения элювия по карбонатным породам соответственно. Хорошо видно, что мощность элювия снижается с понижением абсолютных высот.

Как отмечалось выше, карбонатные породы распространены преимущественно на верхнем плато и сложены светло-серыми микрозернистыми известняками и доломитами уржумского и казанского ярусов мощностью до 10 м. Это предопределило тип образовавшегося карбонатного элювия.

Процесс дезинтеграции карбонатов под действием отрицательных температур хорошо отразился в морфологии поверхностей псефитовых и алевроитовых обломков карбонатных пород. Изучение доломитов и известняков, отобранных с территории Бугульминского плато, было выполнено в рамках диссертационного исследования [23].

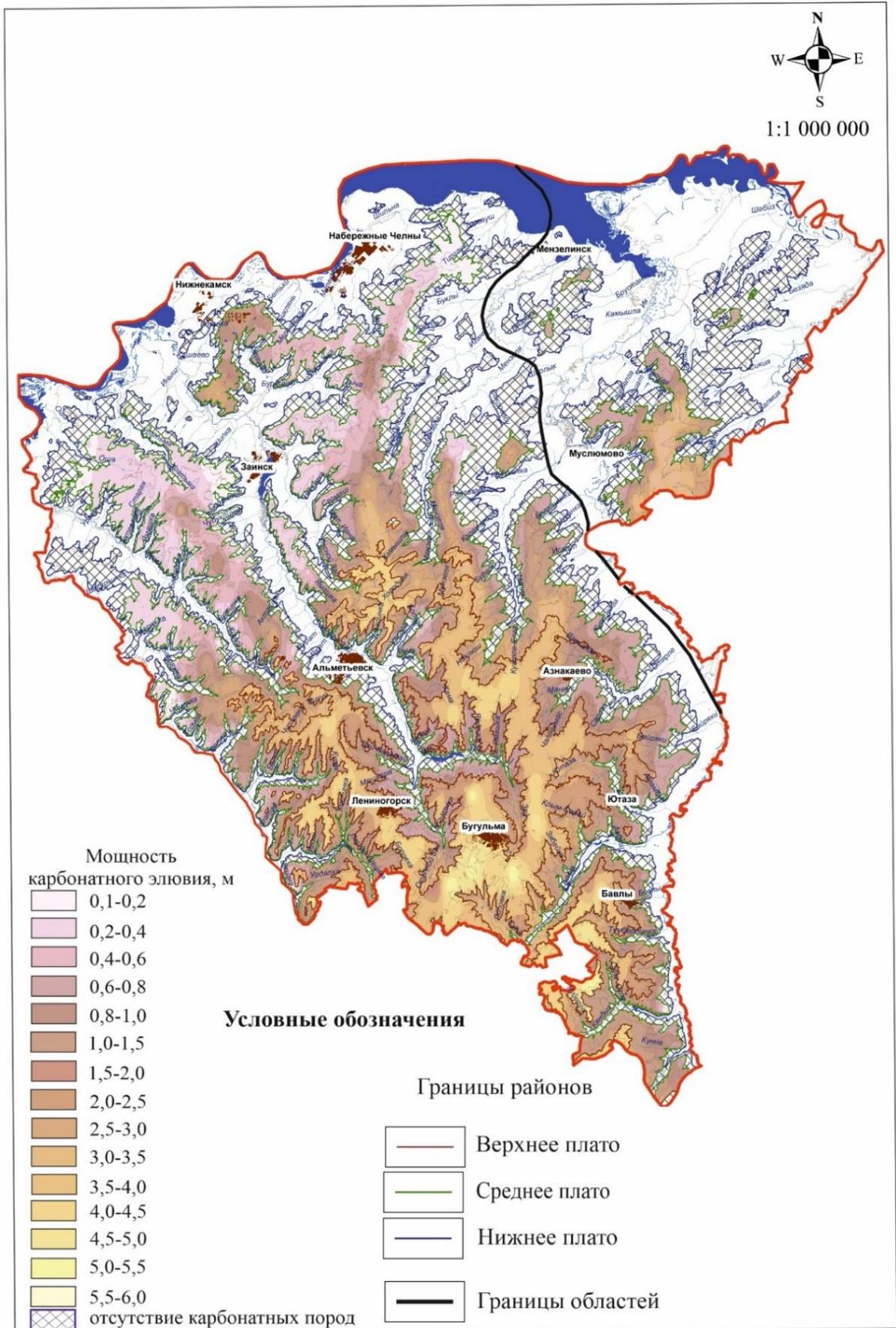


Рисунок 4.1. Карта мощности карбонатных элювиальных грунтов
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

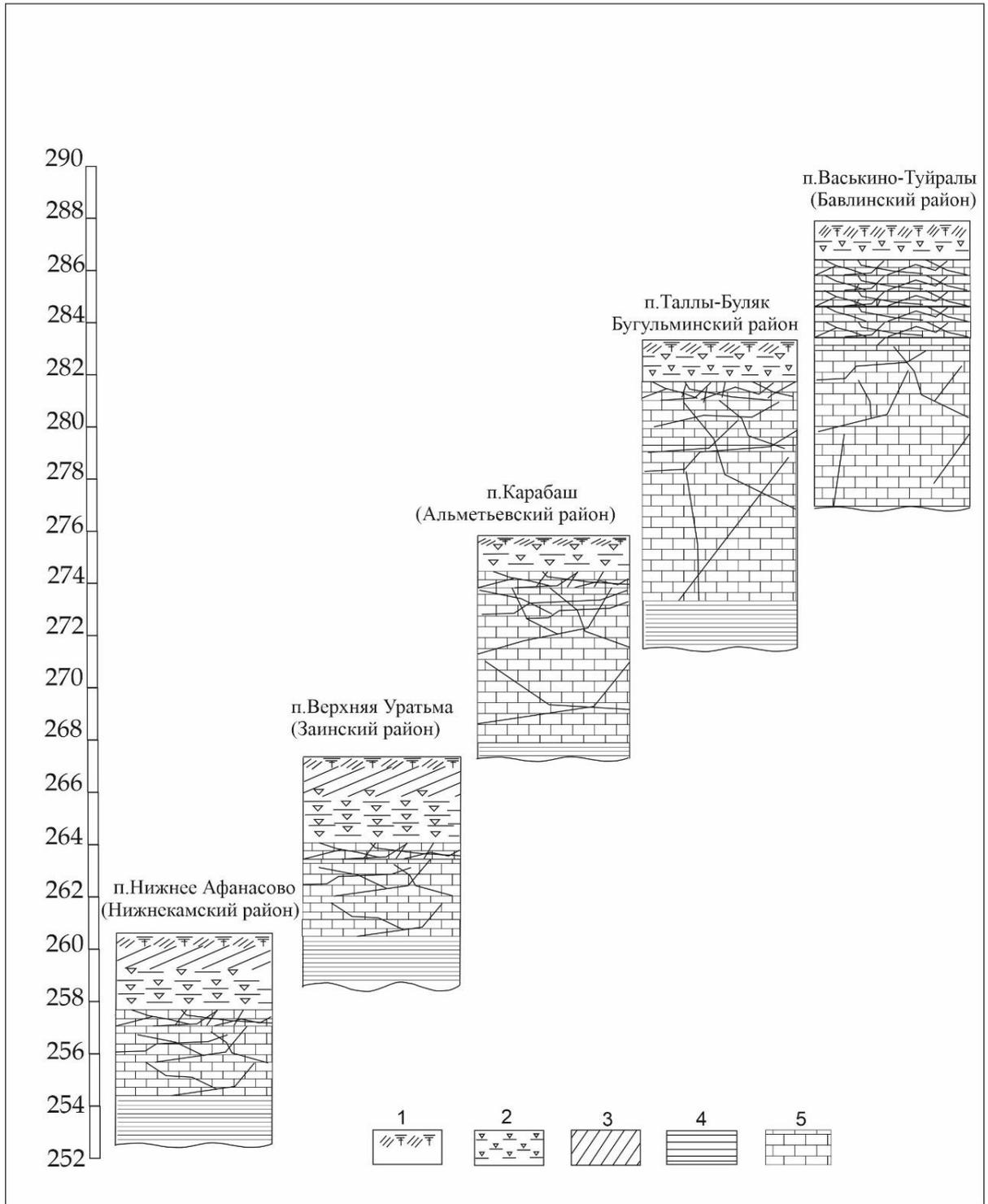
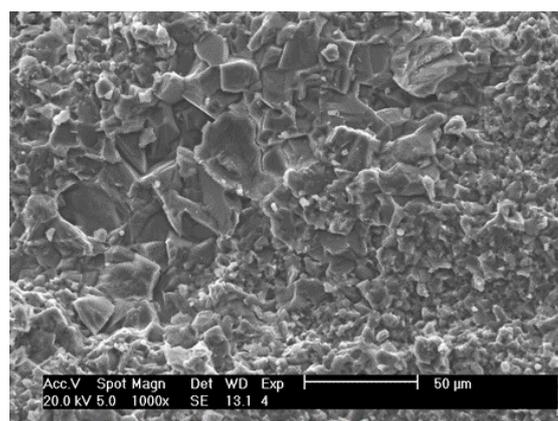
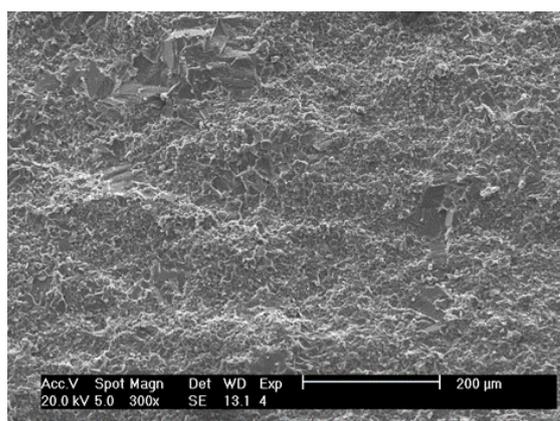


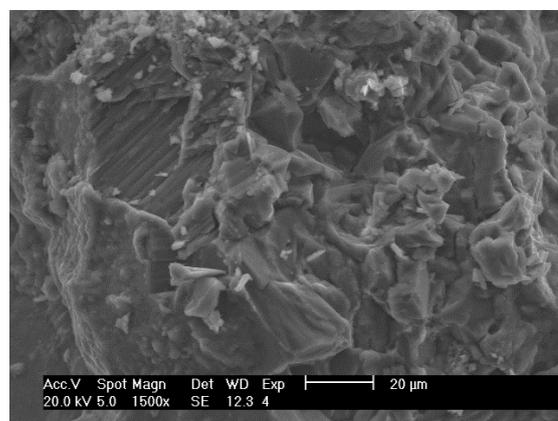
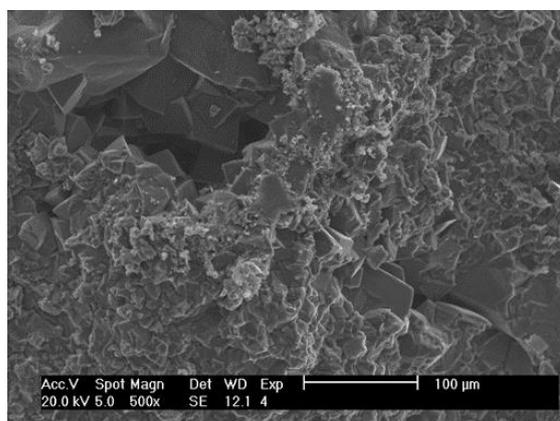
Рисунок 4.2. Геологический профиль распространения карбонатных элювиальных грунтов

Результаты оптико-микроскопических исследований известняков, отобранных в стенках карьера у п. Новые Бавлы Бугульминского района, проиллюстрированы на рисунках 4.3 и 4.4.

На рисунке 4.3 виден процесс изменения микростроения известняка в начальной фазе выветривания, при переходе от зоны сохранного массива к зоне структурного элювия. Видно, что процесс дезинтеграции сопровождается изменениями в межзерновом пространстве. Зерна карбонатов имеют хорошо выраженные габитусные характеристики в виде ребер, углов и граней ромбоэдров. Это свидетельствует о том, что причиной дезинтеграции является механический разрыв связей между минеральными зёрнами [23].



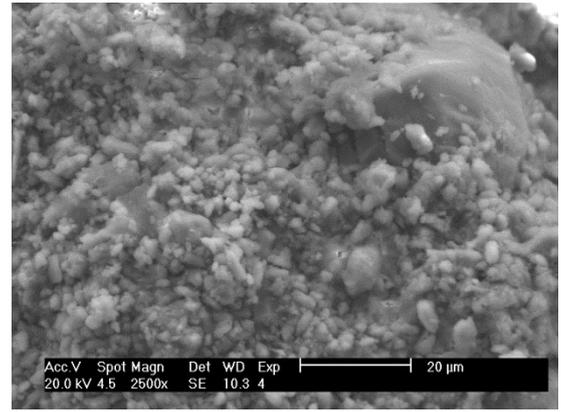
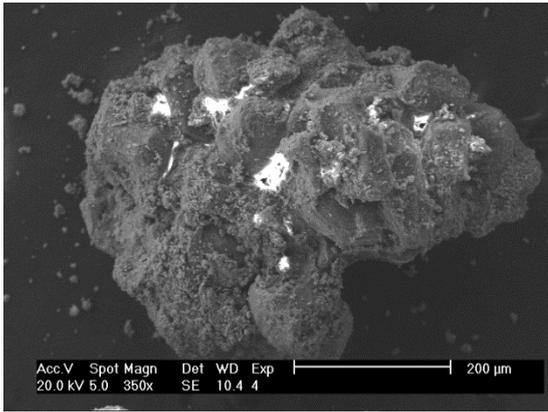
Известняк (структурный горизонт)



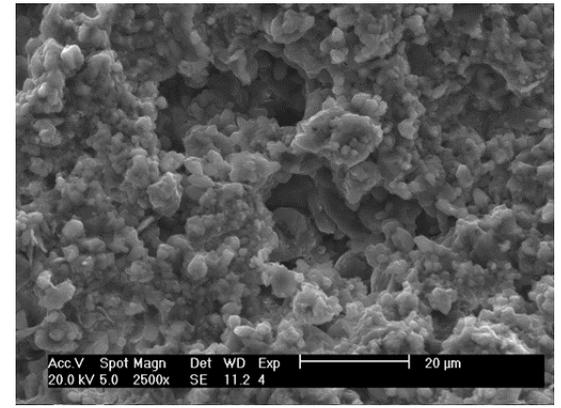
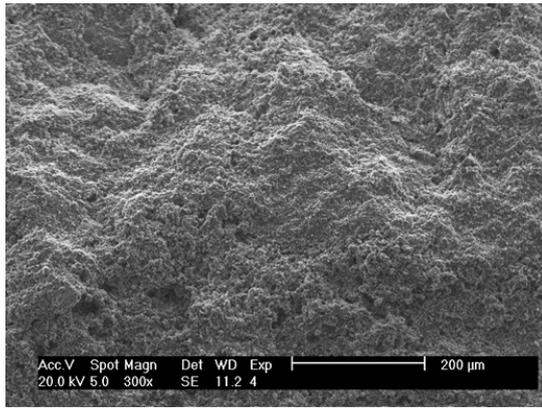
Известняк (сохранный массив)

Рисунок 4.3 Микроструктура известняков различных зон

На рисунке 4.4 показано изменение микроструктуры в ходе дальнейшего выветривания и перехода в зону бесструктурного элювия. Видно, что и в плитчатом известняке, и в карбонатной муке процесс дезинтеграции продолжается с дальнейшим разрывом связей и еще более мелким дроблением частиц.



Карбонатная мука (бесструктурный горизонт)



Плитчатый известняк (бесструктурный горизонт)

Рисунок 4.4 Микроструктура известняков различных зон

На основании этого можно сделать вывод, что при образовании элювия по карбонатным породам первичным является физическое выветривания вследствие сезонно-климатических изменений.

Для подтверждения этой гипотезы была проведена серия экспериментов на морозное выветривание. Партия из ста образцов размерами 2,5x2,5x1,0 см подвергалась циклическому замораживанию и оттаиванию. Методика испытаний была принята соответствии с ГОСТ Р 70259–2022 [33].

Диапазон изменения температур был выбран максимально близким к естественным условиям и составлял от минус $18^{0\pm 2}$ до плюс $+20^{0\pm 5}$ С. Каждый цикл испытаний сопровождался визуальным осмотром образцов. Через каждые пять циклов ряд образцов подвергался испытанию на механическую прочность.

В результате было установлено, что для образцов, изготовленных из доломитов, через 20 циклов промерзания–оттаивания началось наблюдаться

разрушение с образованием трещин, на поверхности которых при микроскопическом осмотре хорошо выделялись поверхности зерен с выраженными габитусными элементами [28].

В известняках процесс разрушения имел схожий характер, но разрушение начиналось в среднем на 10 циклов позже по сравнению с доломитами.

На рисунке 4.5 показаны фотографии испытываемых образцов.

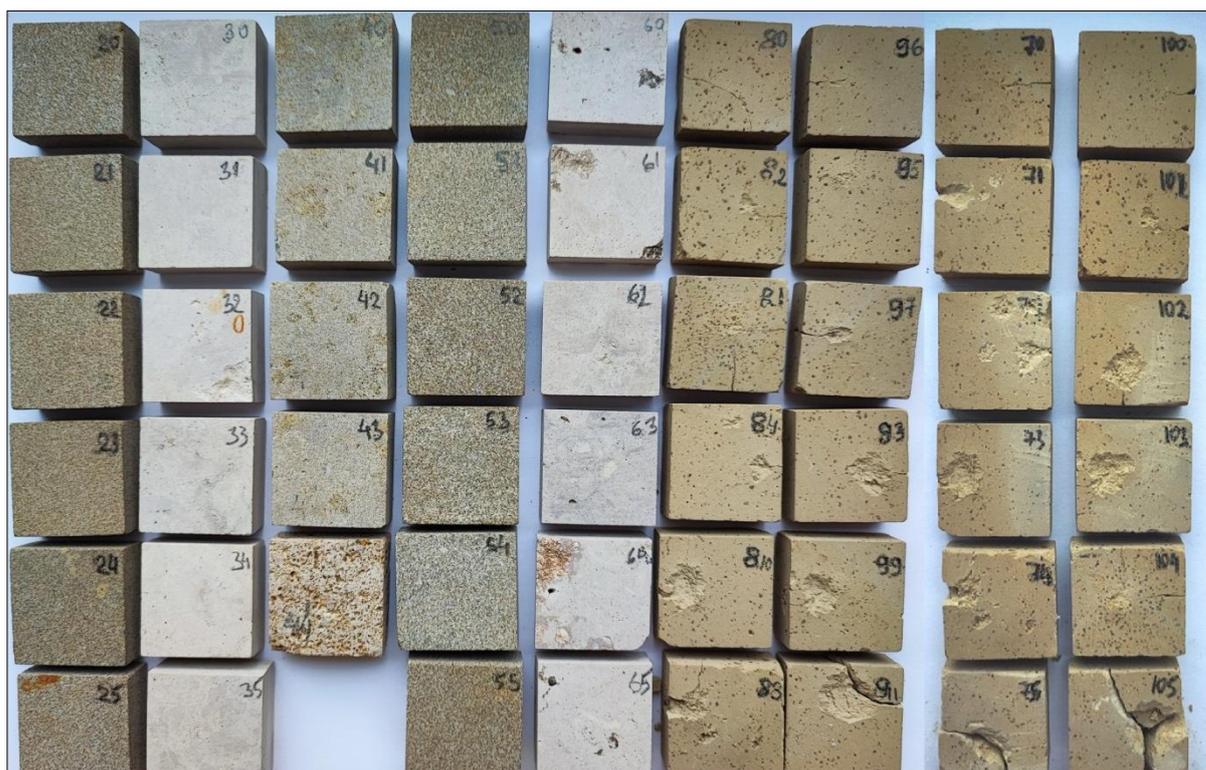


Рисунок 4.5. Разрушение карбонатных пород при циклических температурных испытаниях

Лабораторные исследования отобранных в процессе маршрутного обследования образцов карбонатных пород показали, что несмотря на некоторое многообразие выявленных литотипов, на преобладающей части исследуемой территории распространены два основных структурно-минералогических типа.

I. *Известняк пеллоидно-комковатый пакстоун, алевропесчанистый, пористый*, с линзовидно-слоистой текстурой [23].

Известняк имеет светло-серый окрас, иногда с бурым оттенком за счет ожелезнения, на 50–60 % сложен органическими остатками, на 15–20 % - цементирующим минеральным веществом [23]. Структура –

неравнозернистая, текстура – линзовидно-слоистая или скрытозернистая. Органические остатки размером 0,1–0,5 мм представлены сфероидальными комковатыми агрегатами, сложенными микрозернистым кальцитом [23]. Аллотигенный материал представлен угловатыми и полуокатанными, изометричными и удлиненными по облику обломками горных пород (65 %), зернами кварца (20 %) и плагиоклазов (10 %), чешуйками мусковита и хлорита (5%) [23]. Органические остатки и аллотигенные обломки сцементированы кальцитовым цементом [23]. Цемент базально-порового типа, по структуре микро-тонкозернистый, неравномерно выщелочен из межформенного пространства, часто присутствует в виде тонких оторочек вокруг органических остатков. Пористость известняка составляет 5–10 % пор. Поры выщелачивания, межформенные, сообщающиеся, образуют извилистые каналы диаметром 0,05–0,1 мм [23]. На рисунке 4.6 приведены фото микроскопического строения известняка.

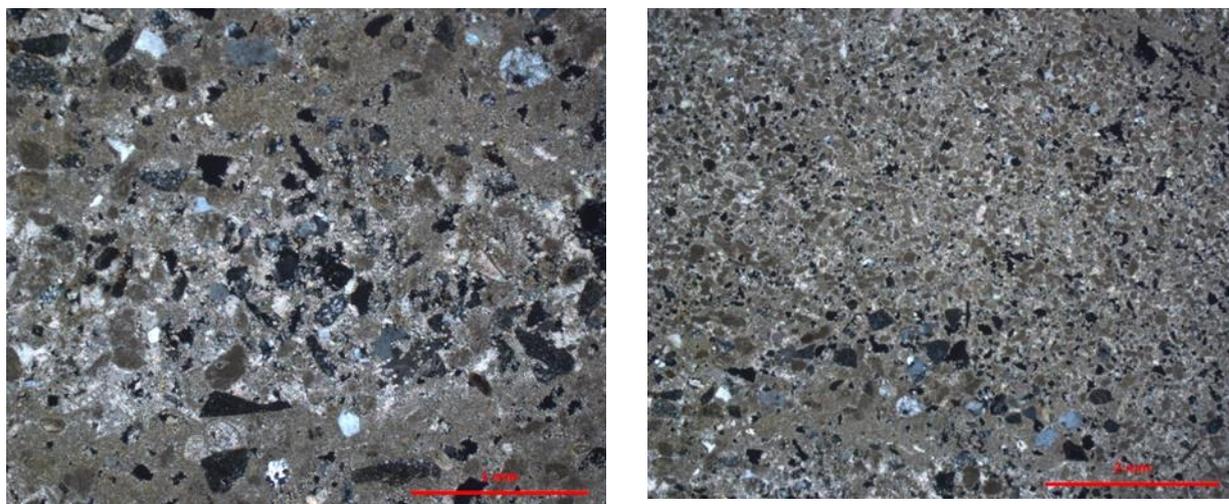


Рисунок.4.6. Микроскопическое строение известняков

В невыветрелом состоянии известняк содержит слойки и линзочки терригенного материала, представленного обломками пород, зернами кварца, полевыми шпатами, чешуйками мусковита или органические остатки размером 0,1–0,25 мм. В результате выщелачивания обломки минералов и горных пород выносятся из породы, образуя щелевидные полости. При этом пористость

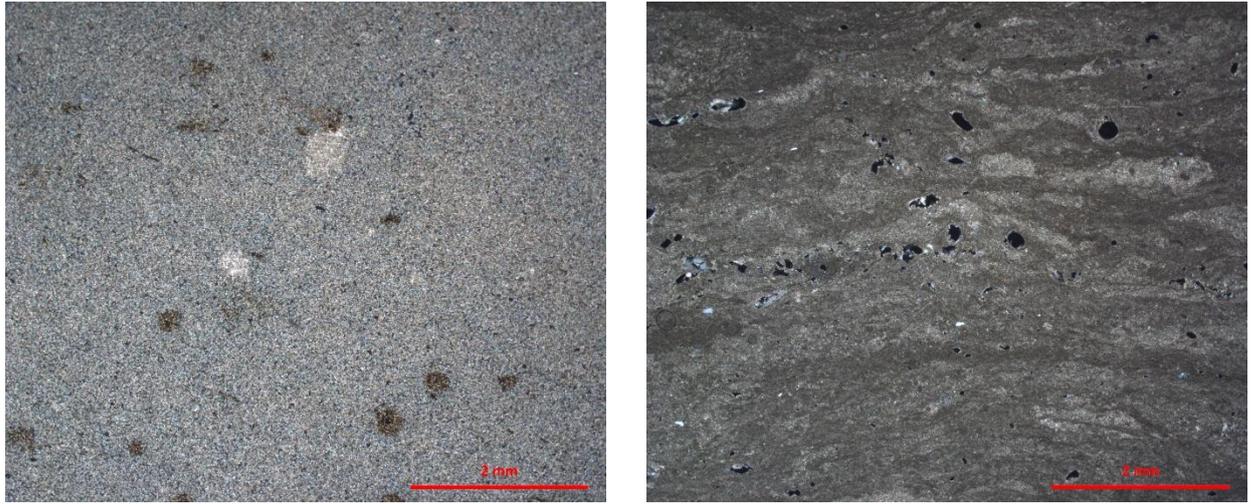


Рисунок 4.7. Микроскопическое строение доломитов известняков увеличивается до 15–20 %. Каверны выщелачивания частично залечены аутигенным яснозернистым кальцитом [23].

I. Доломит строматолитовый, седиментационно-диагенетический, пелитоморфный, плотный.

Доломит имеет хорошо различаемую волнисто-слоистую текстуру (рисунок 4.7). Структура породы - пелитоморфная. В отдельных слойках отмечаются темно-бурые вкрапления глинистого материала. В пелитоморфных слойках присутствуют редкие рассеянные включения (5 %) органических остатков, представленных кальцисферами, онколитами и створками остракод [23].

Пористость доломитов находится в диапазоне от 3 до 6 %.

На рисунках 4.8 и 4.9 показаны фото карьеров и обнажений карбонатных пород территории Восточного Закамья.



*п. Васькино-Туйралы
Бавлинский район*



*п. Райлан
Бугульминский район*



*п. Новые-Бавлы
Бавлинский район*



*п. Бакалы
Бавлинский район*



*п. Ниж.Вязовка
Лениногорский район*



*п. Александровка
Ютазинский район*

Рисунок 4.8. Фото обнажений карбонатных грунтов на территории Восточного Закамья



*п. Старое Мазино
Мензелинский район*



*п. Михайловка
Муслумовский район*



*г. Заинск
Заинский район*



*п. Аты
Нижнекамский район*



*п. Караи-Каран
Сармановский район*



*п. Тойкино
Азнакаевский район*

Рисунок 4.9. Фото обнажений карбонатных грунтов на территории Восточного Закамья

4.2. Строение профиля кор выветривания

Описанию зон расчленения карбонатных пород уделено значительное внимание. При этом почти все исследователи предлагают рассматривать профиль выветривания с точки зрения степени нарушенности карбонатных массивов трещинами [81, 99, 104, 111, 132, 133, 135, 136, 138, 141, 142, 143, 148, 149, 156, 190, 192, 193, 195, 197, 202, 209].

Д.П. Прочухан выделяет в профиле выветривания слаботрещиноватую, глыбовую зоны, зону физического выветривания, и зону химического выветривания. Классификация зон М. Варгаса носит слишком общий характер.

В таблице 4.1 приведена классификация зон выветривания различных авторов.

ГОСТ 25100–2020 выделение зон в зависимости от степени изменения исходной материнской породы.

Зональность профилей выветривания по карбонатным породам устанавливалась путем проведения маршрутного обследования территории Восточного Закамья. Для исследуемых толщ был исследован характер их строения, выполнен отбор образцов с целью изучения физико-механических свойств, минерального и химического состава [87, 88].

Как было отмечено ранее, элювий по карбонатным породам на территории Восточного Закамья развивается преимущественно на поверхности верхнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности и почти не распространен на территории Камско-Бельской низменности.

Анализ строения профилей выветривания в точках наблюдения показал, что на всех стенках природных и техногенных обнажений четко обособляются три зоны: неизменные карбонатные породы, породы структурного элювия и карбонатная мука зоны бесструктурного элювия.

Таблица 4.1 - Схемы расчленения кор выветривания карбонатных пород на зоны

По И.И. Гинзбургу 1947 г	По В.Д. Ломтадзе 1971 г	По Э.А. Джавахи- швили, 1962 г	По М. Варгасу 1953 г	Д.П. Прочухану 1965 г	По ГОСТ 25100-2020
Интенсивного разрушения	Зернистая	Мелкого дробления	Поверхно- стная или пористая	Химического выветривания	А — зона сильного изменения
Зона слабой дезинтеграци и	Мелко- обломоч- ная	Щебенис- тая	Молодые элювиаль- ные грунты	Физического выветривания	Б — зона средней степени изменения
Трещиноватая	Грубообло- мочная глыбовая	Глыбовая	Разрушен- ные породы	Глыбовая	В — зона слабого изменения
-	Скрытотре- щиноватая скальная порода	Скрытотре- щиноватая	Скрыто- трещино- ватая скальная порода	Скрыто- трещиноватая скальная порода	Г — сохранный массив

По мере выветривания снизу вверх по профилю размеры отдельностей уменьшаются, переходя в бесструктурный элювий. Последний сложен обломками щебнисто-дресвяной размерности, сцементированными рыхлой белой, серой доломитовой мукой, состоящей из агрегатов [199] прочно сцепленных ромбоэдрических зерен доломита. Хорошая сохранность габитусных элементов ромбоэдрических кристаллов указывает на механические разрывы структурных связей между зернами при дезинтеграции доломитов.

Схематическое изображение выделенных зон элювия по карбонатным породам показано на рисунке 4.10.

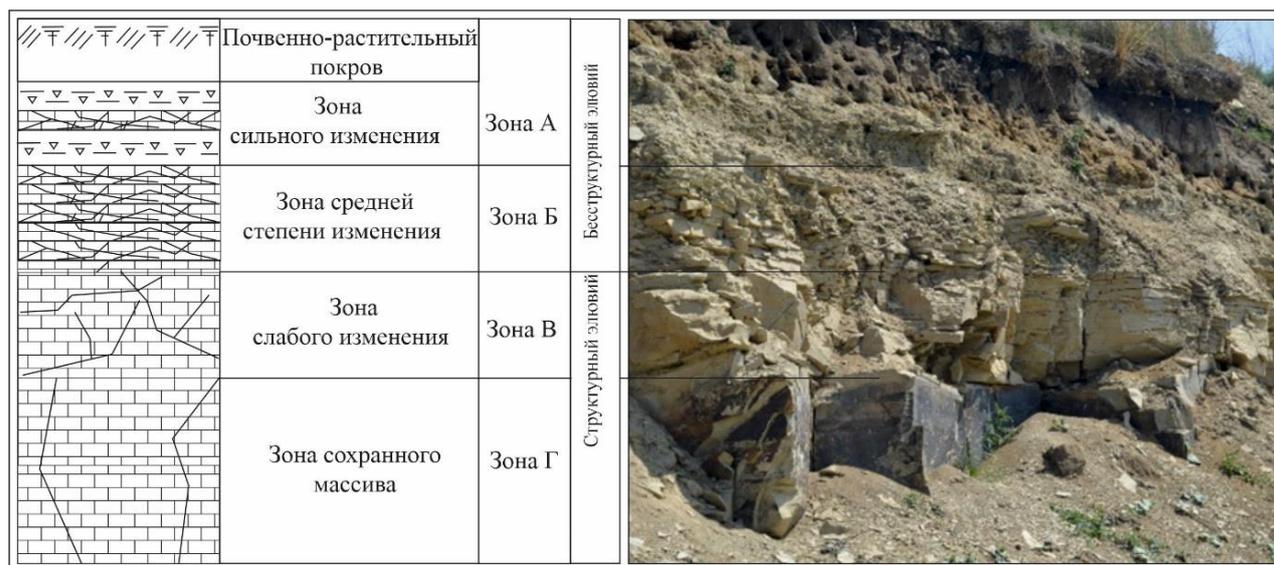


Рисунок 4.10. Зональность преобразования карбонатных пород

Литолого-структурная характеристика профиля гипергенно-преобразованных карбонатных отложений демонстрирует отчетливую вертикальную зональность. В основании разреза залегают консолидированные, массивные карбонатные породы, характеризующиеся дискретной сетью субвертикальных трещин с пространственной периодичностью 10–15 м. Вышележащая толща представлена карбонатными породами с прогрессирующей дезинтеграцией и блоковой делимостью, обусловленной увеличивающейся плотностью вертикальных и горизонтальных трещин. Наблюдается отчетливый вертикальный градиент фрагментации: от крупноблочной текстуры (1,5×0,6×0,8 м) в нижнем интервале до мелкоблочной текстуры (0,5×0,25×0,3 м) в верхнем. Примечательно, что несмотря на прогрессирующую дезинтеграцию, толща сохраняет реликтовую массивную текстуру.

Конформно перекрывающий данный слой горизонт представлен плитчатыми карбонатными породами светло-серого цвета с микрозернистой структурой. Здесь также наблюдается тенденция уменьшения размера плитчатых отдельностей от крупноплитчатых в подошве до тонкоплитчатых в кровле. Плитчатая отдельность сохраняет первичное положение, соответствующее

залеганию исходной карбонатной породы, что характеризует данный интервал как структурный элювий.

Выше по разрезу залегает слой бесструктурного карбонатно-глинистого элювия, представленный светло-серой карбонатной и карбонатно-глинистой мукой с обломками карбонатных пород различного размера. Прослеживается тенденция уменьшения размера обломков и доли псефитовой фракции от подошвы к кровле, параллельно увеличивается содержание псаммитовой и алевритовой фракций. Отмечаются следы суффозионного выноса тонкодисперсного материала и вымывания красно-бурого глинистого вещества. Мощность данного бесструктурного элювиального горизонта составляет 1,5–2,5 м.

Выше может залегать слой плитчатых карбонатных пород бесструктурного элювия, где плитчатые отдельности легко распадаются на составляющие. Трещины раскрытостью 0,5–1,0 см частично заполнены карбонатно-глинистой мукой. В верхней части слоя наблюдаются деформации плитчатых отдельностей в виде волнистых изгибов, обусловленные локальным размывом нижележащих пород и формированием экзогенной складчатости в кровельной части. Мощность данного горизонта 2,0–2,5 м.

Разрез венчают красно-бурые суглинки, переходящие в темно-серые подзолистые почвы, общей мощностью 0,4–0,6 м [23].

С инженерно-геологической точки зрения, выявленное строение элювиальных отложений по карбонатным породам может быть охарактеризовано состоящим из двух разных классов. В разрезе прослеживаются горизонт структурного и горизонт бесструктурного элювия, различающиеся по литолого-структурным особенностям и, соответственно, принадлежащие к разным генетическим типам грунтовых массивов в соответствии с ГОСТ 25100–2020.

Горизонт бесструктурного элювия

Текстурные особенности данного интервала характеризуются преимущественно тонкозернистым строением с однородной текстурой [23].

В составе тонкозернистого слабосцементированного материала присутствуют единичные разобщенные угловатые обломки исходных карбонатных пород. Распределение обломочной составляющей (дресвы) в разрезе зоны А неравномерно, отмечается тенденция уменьшения ее количества от подошвы к кровле.

Включения карбонатных пород в виде дресвы и щебня в зоне сильного изменения характеризуются сильной степенью выветрелости. Они легко разрушаются механическим воздействием, растираются руками и размягчаются в воде, что указывает на глубокие преобразования исходных пород [23].

Выполненные исследования позволили установить, зона сильного изменения (зона А) бесструктурного элювиального горизонта с литологической и инженерно-геологической точки зрения представлена двумя разновидностями:

1. Карбонатно-глинистая мука А-I.

Минералогический состав данной разновидности характеризуется преобладанием карбонатной составляющей (более 50 %) над глинистой компонентой.

Физико-механические свойства карбонатно-глинистой муки этого типа проявляются в низкой пластичности, малой сжимаемости и средней плотности. Согласно инженерно-геологической классификации, данный грунт соответствует классу дисперсных грунтов с характеристиками полутвердых или твердых состояний.

2. Карбонатно-глинистая мука А-II:

Минеральный состав данной разновидности отличается преобладанием глинистого компонента (более 50 %) над карбонатной фракцией.

Физико-механические свойства карбонатно-глинистой муки этого типа характеризуются повышенной пластичностью, средней сжимаемостью и низкой плотностью. В соответствии с инженерно-геологической классификацией, этот грунт относится к классу дисперсных грунтов с характеристиками мягкопластичных или тугопластичных состояний.

Литолого-структурная организация зоны средней преобразования (зоны Б) элювиальных отложений, развивающихся по карбонатным породам, характеризуется сложной дезинтеграцией исходного субстрата. Данная зона сложена разобщенными плиточками карбонатных пород, ориентировка которых нарушена в пространстве.

Морфометрический анализ карбонатных плиточек показывает, что их размерные характеристики закономерно уменьшаются от подошвы к кровле молодой коры выветривания [85]. Данная тенденция отражает последовательность процессов физического и химического выветривания, приводящих к постепенной дезинтеграции исходных карбонатных пород.

В пределах зоны Б наблюдается неоднородное пространственное распределение обломков карбонатных пород. Отмечаются участки, где плиточки налегают друг на друга, формируя хаотичные скопления. На других участках плиточки наклонены под углом 5–20° относительно горизонтальной плоскости. Также встречаются зоны, где карбонатные обломки волнообразно изогнуты, образуя небольшие по амплитуде экзогенные складчатые структуры.

Плиточки карбонатных пород в пределах зоны Б разделены относительно широкими вертикальными и горизонтальными трещинами. Данные трещины выполнены тонкодисперсным карбонатным материалом с включениями дресвы [88]. Формирование такой литолого-структурной организации обусловлено последовательностью процессов физического и химического выветривания, приводящих к постепенной дезинтеграции и разупорядочению исходного карбонатного субстрата.

Горизонт структурного элювия

Зона В (зона слабого изменения) представлена плотными слабо трещиноватыми известняками и доломитами. В вертикальном разрезе наблюдается четкая зональность: от подошвы к кровле последовательно увеличивается количество пересекающихся трещин, возрастает степень их раскрытия, в полостях разрывных нарушений появляется тонкодисперсный карбонатный материал. Соответственно, размеры блоков отдельностей

закономерно уменьшаются от блочной параллелепипедной до грубо-, толсто- и средне-плитчатой текстуры.

Средняя плотность пород составляет 2,5–2,7 г/см³, открытая пористость варьирует от 6,2 до 10,5 %. Прочностные характеристики характеризуются пределом одноосного сжатия 12,4–60,5 МПа. Коэффициент выветрелости находится в диапазоне $0,8 < K_{wr} < 0,9$, что соответствует переходу к выветрелым породам. Мощность зоны В изменяется от 0,5 до 2,8 м [23].

По результатам литолого-минералогического анализа в пределах зоны В выделено две разновидности современных элювиальных кор выветривания, различающихся составом исходных карбонатных пород. Первая разновидность (Зона В/Б-I) сформирована по тонкослоистым или массивным известнякам, вторая (Зона В/Б-II) – по тонкослоистым или массивным доломитам. Детальная характеристика минерального состава, текстурно-структурных особенностей, физических и механических свойств приведена в последующих разделах [23].

Зона сохранного массива

Зона Г характеризуется плотными карбонатными породами светло-серого цвета с микро- и тонкозернистой структурой, массивной или неясно-слоистой текстурой, обусловленной наличием тонких глинистых прослоев. Массивы пород в пределах данной зоны разбиты системами вертикальных и горизонтальных трещин на крупноблочные отдельности. Отмечаются протяженные трещинные фильтрационные каналы раскрытостью до 2,0 см.

Средняя плотность пород в зоне Г варьирует в диапазоне 2,6–2,9 г/см³, открытая пористость составляет 3,1–5,5 %. Прочностные характеристики характеризуются пределом одноосного сжатия 67,4–118,5 МПа. Коэффициент выветрелости $K_{wr} > 0,9$, что соответствует слабовыветрелым породам.

Таким образом, зона Г представлена плотными, слабо трещиноватыми карбонатными породами с массивной или неясно-слоистой текстурой, обладающими высокими прочностными свойствами и низкой степенью выветрелости [23].

Процесс изменения строения карбонатных пород различных зон выветривания проиллюстрирован на рисунке 4.11.

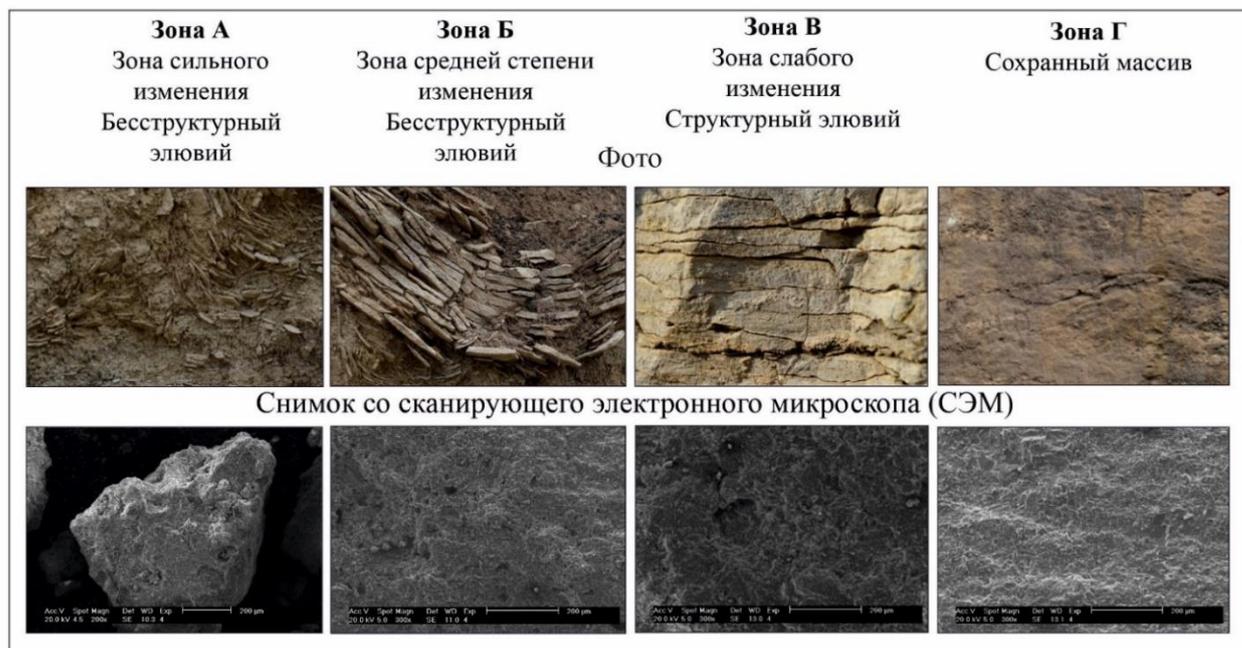


Рисунок 4.11. Изменение строения карбонатных пород различных зон преобразования

4.3. Минеральный и химический состав карбонатных элювиальных грунтов

Минеральный состав грунтов был изучен методом рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре D2 Phaser (Bruker, Германия).

На рисунках 4.12, 4.13, 4.14 и 4.15 приведены примеры рентгеновских дифрактограмм каждой из зон профиля выветривания.

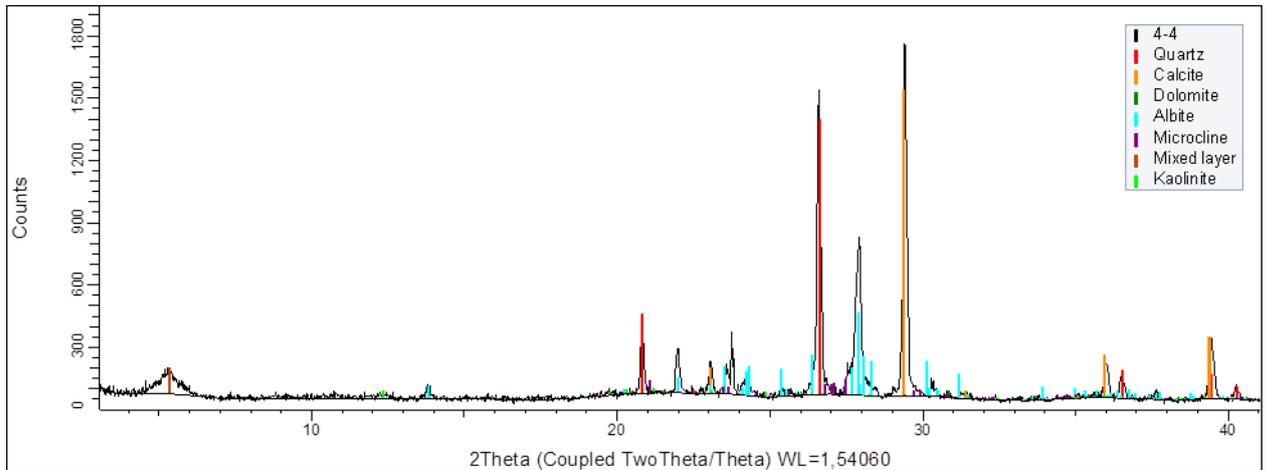


Рисунок 4.12. Рентгеновская дифрактограмма карбонатно-глинистой муки

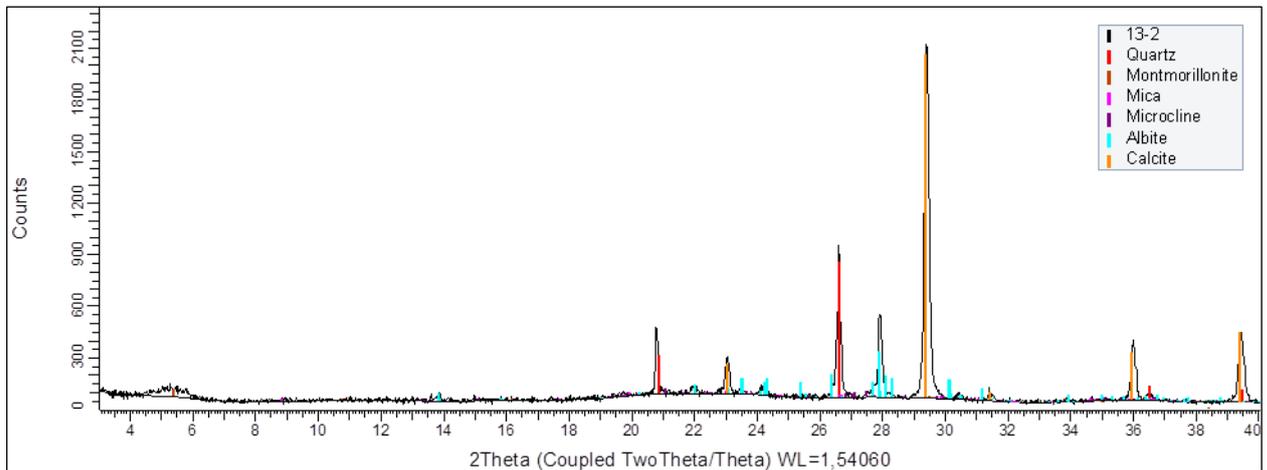


Рисунок 4.13. Рентгеновская дифрактограмма известняка (зона Б)

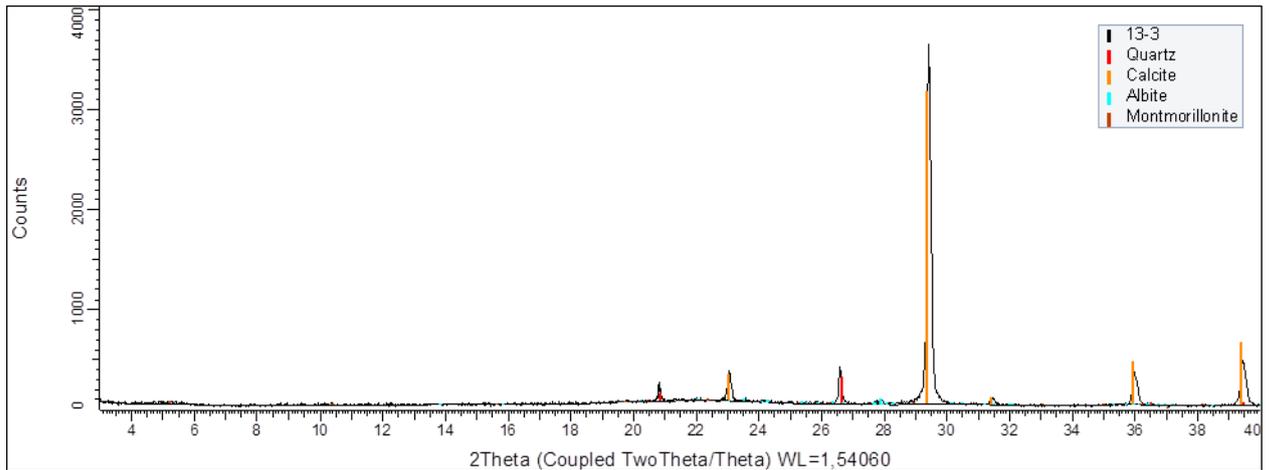


Рисунок 4.14. Рентгеновская дифрактограмма известняка (зона В)

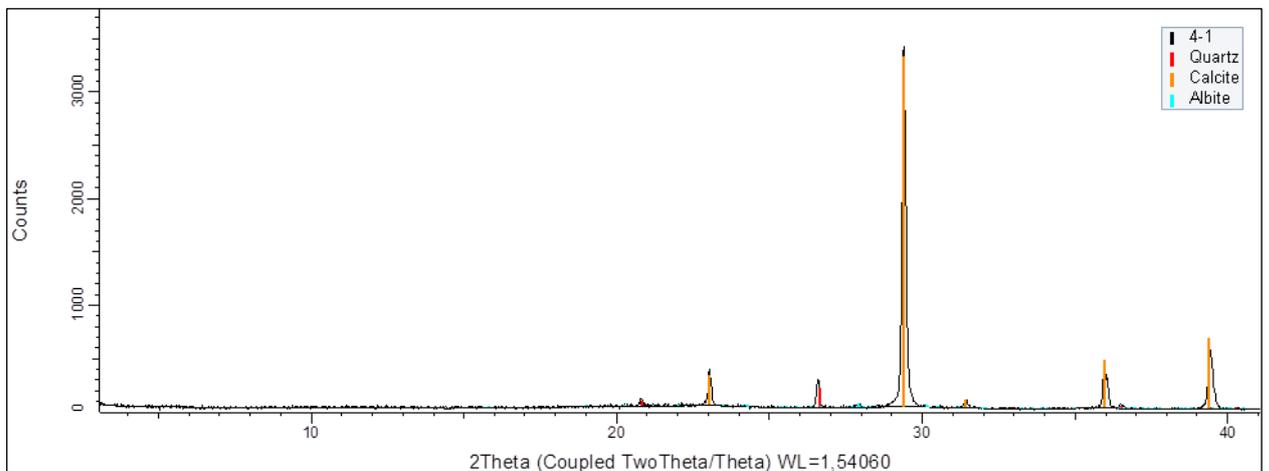


Рисунок 4.15. Рентгеновская дифрактограмма известняка сохранный массива (зона Г)

Результаты рентгенофазового анализа минерального состава исследуемых грунтовых образцов приведены в таблице 4.2. Установлено, что минеральный состав зон А и Б (бесструктурный элювий) характеризуется широкой вариабельностью содержания минеральных фаз. Данная особенность обусловлена незавершенностью процессов физико-химического выветривания, протекающих в пределах данной геологической зоны.

Анализ данных, представленных в таблице 4.2, наглядно демонстрирует зависимость минерального состава элювия от степени разрушения (диспергирования) исходных карбонатных пород. По мере развития процессов выщелачивания и разложения наблюдается постепенное повышение

дисперсности и однородности состава карбонатного материала (карбонатной муки), а также изменение соотношения основных минеральных фаз - кальцита, доломита и нерастворимых терригенных примесей [85].

Результаты химического анализа, представленные на рисунке 4.16, подтверждают и дополняют данные рентгенофазового анализа, полученные ранее. В исходных карбонатных породах зон В и Б преобладают кальций и кислород, входящие в состав кальцита (CaCO_3) как основного минерала. В качестве примесных элементов присутствуют магний (Mg), входящий в состав доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), а также кремний (Si), алюминий (Al) и калий (K), ассоциированные с кварцем (SiO_2), альбитом $\text{Na}[\text{Al},\text{Si}_3\text{O}_8]$ и мусковитом $\text{KA}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$.

В плитчатых известняках зоны Б (подзона I) отмечается повышенное содержание железа, привнесенного инфильтрационными водными растворами. В составе карбонатной муки зоны Б (подзона II) наблюдается уменьшение доли кальция вследствие избирательного растворения кальцита и выноса ионов Ca^{2+} , в то время как относительное содержание других элементов, формирующих устойчивые минеральные фазы, возрастает [23].

Таблица 4.2 - Минеральный состав карбонатного элювия (по данным А.Н. Гараевой, 2022)

Литология	Минеральный состав (вес %)						
	Доломит	Кальцит	Альбит	Кварц	Монтмо-риллонит	Микроклин	Каолин
Зона Г-I Сохранный массив. Известняк (60 образцов)		$\frac{92 \div 98}{95}$		$\frac{2 \div 4}{2}$		$\frac{2 \div 4}{3}$	
Зона Г-II Сохранный массив. Доломит (60 образцов)	$\frac{89 \div 96}{93}$	$\frac{2 \div 7}{3}$		$\frac{2 \div 6}{4}$			
Зона В/Б - I Горизонт структурного элювия / Горизонт бесструктурного элювия Известняк (60 образцов)		$\frac{88 \div 96}{92}$	$\frac{2 \div 6}{4}$	$\frac{2 \div 6}{4}$			
Зона В/Б - II Горизонт структурного элювия / Горизонт бесструктурного элювия Доломит (60 образцов)	$\frac{78 \div 91}{84}$	$\frac{4 \div 7}{8}$	$\frac{2 \div 6}{4}$	$\frac{2 \div 6}{4}$			
Зона А - I Горизонт бесструктурного элювия Карбонатно-глинистая мука известковистая (60 образцов)	$\frac{1 \div 4}{2}$	$\frac{35 \div 50}{43}$	$\frac{20 \div 30}{25}$	$\frac{10 \div 15}{13}$	$\frac{6 \div 12}{9}$	$\frac{2 \div 10}{5}$	$\frac{1 \div 5}{3}$
Зона А - II Горизонт бесструктурного элювия Карбонатно-глинистая мука доломитовая (60 образцов)	$\frac{32 \div 64}{48}$	$\frac{5 \div 10}{7}$	$\frac{10 \div 25}{17}$	$\frac{10 \div 25}{17}$	$\frac{1 \div 10}{5}$	$\frac{1 \div 5}{3}$	$\frac{1 \div 5}{3}$

Примечание: в числителе указан диапазон изменения, в знаменателе – средние значения

Совместное повышение концентраций кремния и алюминия в карбонатной муке зоны связано с накоплением глинистых минералов по мере развития процессов химического выветривания [23].

Почвенно-растительный покров			Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)
Зона сильного изменения	Зона А	Бесструктурный элювий	5,78	12,83	2,5	3,5	4,5	0,4	1,1	15,56
Зона средней степени изменения	Зона Б		4,95	10,9	1,8	0,39	2,95	0,5	1,3	22,2
Зона слабого изменения	Зона В	Структурный элювий	1,88	6,12	1	0,2	0,5	0,7	1,5	33,82
Зона сохранного массива	Зона Г		0,42	0,35	0,3	0	0	0,9	1,9	65,4

Рисунок 4.16. Элементный состав карбонатных пород различных зон преобразования в оксидной форме

4.4. Инженерно-геологические свойства и классификация карбонатных элювиальных грунтов

Лабораторные испытания физико-механических свойств грунтовых образцов проводились в лабораториях грунтоведения и механики грунтов Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета с использованием современного оборудования.

В соответствии с классификацией грунтовых массивов по ГОСТ 25100–2020, на участке были выделены горизонты структурного и бесструктурного элювия, отличающиеся интенсивностью экзогенной трансформации карбонатных пород, для которых были определены основные физико-механические параметры.

БЕССТРУКТУРНЫЙ ЭЛЮВИЙ

Как отмечалось выше, в зоне А бесструктурного элювия с инженерно-геологической точки зрения необходимо выделять две разновидности:

1. Карбонатно-глинистая мука А-I (с преобладанием карбонатной составляющей (более 50 %) над глинистым компонентом).

Согласно инженерно-геологической классификации, данный грунт соответствует суглинкам (редко супесям) твердой и полутвердой консистенции.

Числа пластичности находятся в диапазоне 5–18. Плотность грунта варьирует в пределах 1,72–2,0 г/см³, коэффициент пористости – 0,67–0,81.

2. Карбонатно-глинистая мука А-II (с преобладанием глинистого компонента (более 50 %) над карбонатной фракцией).

Согласно инженерно-геологической классификации, данный грунт соответствует глинам (редко суглинкам) преимущественно тугопластичной (редко мягкопластичной) консистенции.

Числа пластичности находятся в диапазоне 15–30. Плотность грунта варьирует в пределах 1,51–1,94 г/см³, коэффициент пористости – 0,74–1,02.

Основные физико-механические характеристики грунтов зоны А-I и А-II приведены в таблицах 4.3 и 4.4 соответственно.

Таблица 4.3 - Показатели физико-механических свойств карбонатно-глинистой муки зоны А-I (на основании материалов собственных исследований автора)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	98	$\frac{0,02 \div 0,26}{0,10}$	0,10
Число пластичности	д.е.	106	$\frac{0,05 \div 0,18}{0,11}$	0,14
Влажность на границе текучести	д.е.	106	$\frac{0,18 \div 0,36}{0,27}$	0,20
Влажность на границе раскатывания	д.е.	106	$\frac{0,09 \div 0,20}{0,15}$	0,16
Показатель текучести	д.е.	106	$\frac{<0 \div 0,25}{0,17}$	0,21
Плотность минеральной части	г/см	98	$\frac{2,59 \div 2,77}{2,72}$	0,22
Плотность грунта	г/см ³	80	$\frac{1,72 \div 2,00}{1,88}$	0,18
Коэффициент пористости	д.е.	80	$\frac{0,67 \div 0,81}{0,74}$	0,19
Угол внутреннего трения	град	44	$\frac{16 \div 27}{23}$	0,30
Удельное сцепление	кПа	44	$\frac{9 \div 46}{30}$	0,29
Компрессионный модуль деформации	МПа	51	$\frac{14 \div 28}{23}$	0,24

Примечание: в числителе указан диапазон изменения, в знаменателе – средние значения

Таблица 4.4 - Показатели физико-механических свойств карбонатно-глинистой муки зоны А-II (на основании материалов собственных исследований автора)

Наименование показателей	Единица измерения	Количество определений	Значение характеристики	Коэффициент вариации C_v
Естественная влажность	д.е.	131	$\frac{0,14 \div 0,37}{0,33}$	0,14
Число пластичности	д.е.	80	$\frac{0,15 \div 0,30}{0,21}$	0,21
Влажность на границе текучести	д.е.	80	$\frac{0,25 \div 0,51}{0,37}$	0,22
Влажность на границе раскатывания	д.е.	80	$\frac{0,09 \div 0,26}{0,17}$	0,19
Показатель текучести	д.е.	80	$\frac{0,20 \div 0,54}{0,37}$	0,20
Плотность минеральной части	г/см	111	$\frac{2,52 \div 2,83}{2,70}$	0,22
Плотность грунта	г/см ³	72	$\frac{1,51 \div 1,94}{1,77}$	0,18
Коэффициент пористости	д.е.	72	$\frac{0,74 \div 1,02}{0,83}$	0,14
Угол внутреннего трения	град	39	$\frac{14 \div 22}{18}$	0,30
Удельное сцепление	кПа	39	$\frac{14 \div 52}{36}$	0,28
Компрессионный модуль деформации	МПа	60	$\frac{9 \div 22}{18}$	0,21

Примечание: в числителе указан диапазон изменения, в знаменателе – средние значения

Зоны Б, В и Г характеризуются преобладанием массивных и трещиноватых карбонатных пород различной степени выветрелости, разбитых системами трещин на отдельные блоки. Инженерно-геологическая характеристика каждой зоны приведены ниже.

ЗОНА Б

Литологический состав карбонатных пород, слагающих разрезы в пределах рассматриваемой зоны, представлен известняками и доломитами. Породы характеризуются преимущественно светло-серой окраской с локальными участками темно-серого цвета и проявлениями окремнения.

Текстурные особенности карбонатных пород обусловлены наличием кавернозности.

Согласно классификационным критериям ГОСТ 25100–2020, исследуемые карбонатные породы по прочностным характеристикам относятся к категории малопрочных грунтов. Предел прочности на одноосное сжатие R_c варьирует в диапазоне 6,5–10,2 МПа, что соответствует достаточно низким показателям. По плотности скелета данные породы классифицируются как средней плотности и плотные [23].

Проведенные исследования указывают на значительную степень выветрелости карбонатных пород. Коэффициент выветрелости K_{wr} не превышает 0,80, что свидетельствует о существенной трансформации первичных литологических характеристик.

Средние значения плотности карбонатных пород варьируют в диапазоне 2,2–2,5 г/см³, пористость изменяется от 11,6 до 13,5 %. Литологически карбонатные породы слагают линзы, прослои и часто имеют разрушенную, плитчатую текстуру с присутствием карбонатно-глинистого материала [23].

ЗОНА В

Визуально породы характеризуются светло-серой окраской, плотным и крепким сложением, тонко- и мелкозернистой структурой, тонкоплитчатой текстурой.

Данные лабораторных испытаний свидетельствуют, что средняя плотность карбонатных пород варьирует в диапазоне 2,5–2,7 г/см³, открытая пористость изменяется от 6,2 до 10,5 %. Водопоглощение карбонатных пород характеризуется низкими значениями в интервале 0,34–1,9 %.

Прочностные характеристики исследуемых карбонатных пород соответствуют категории крепких грунтов. Предел прочности на одноосное сжатие R_c находится в пределах 60,5–124,0 МПа.

Комплексная оценка степени выветрелости карбонатных пород позволила установить, что они характеризуются как выветрелые, при этом коэффициент выветрелости K_{wr} изменяется в диапазоне 0,8–0,9 [23]. Согласно коэффициенту

размягчаемости $K_{\text{sof}} > 0,75$, данные карбонатные породы практически не размягчаемые.

ЗОНА Г

Породы характеризуются плотным, крепким сложением, участками проявлениями окремнения, органогенной структурой, а также кавернозными текстурными особенностями.

Согласно результатам лабораторных исследований, средняя плотность карбонатных пород находится в диапазоне 2,7–2,9 г/см³, открытая пористость изменяется от 3,1 до 5,5 %. Водопоглощение данных пород варьирует в интервале 1,8–2,1 %.

Прочностные свойства исследуемых карбонатных пород соответствуют категории крепких грунтов. Предел прочности на одноосное сжатие R_c изменяется в пределах 50,8–118,1 МПа.

Оценка степени выветрелости карбонатных пород позволила установить, что они характеризуются как слабыветрелые, о чем свидетельствует коэффициент выветрелости $K_{\text{wr}} > 0,9$. Кроме того, согласно коэффициенту размягчаемости $K_{\text{sof}} > 0,75$, данные карбонатные породы являются не размягчаемыми.

Таким образом, согласно результатам изучения физико-механических характеристик карбонатных массивов, установлено, что по разрезу, с увеличением степени трещиноватости отмечается последовательное ухудшение механических свойств пород [82].

В частности, прочные карбонатные породы с пределом прочности на одноосное сжатие $R_c = 50–120$ МПа постепенно переходят в группу скальных грунтов средней прочности с $R_c = 10–50$ МПа, а затем - в группу скальных малопрочных грунтов с $R_c \leq 10$ МПа [88].

Таким образом, интенсивное развитие трещиноватости в карбонатных породах приводит к снижению их прочностных характеристик вверх по разрезу. Прочные массивные известняки и доломиты сменяются все более раздробленными и трещиноватыми разновидностями пород с последовательным

ухудшением их инженерно-геологических свойств. В таблице 4.5 показаны механические свойства грунтов различных зон.

Полевые исследования грунтовых массивов показали, что по аналогии с песчаниками и глинами на основании данных статического зондирования грунтов можно выделить некоторые зоны бесструктурного карбонатного элювия. На построенной диаграмме рассеяния, приведенной на рисунке 3.21, видны зоны карбонатной муки (зона А) и дресвяно-щебнистого грунта (зона Б).

В таблице 4.6 приведены значения q_c и R_f для выделенных литологических типов карбонатного элювия территории Восточного Закамья.

Таблица 4.6 - Идентификация разновидностей грунтов по удельному сопротивлению грунта внедрению конуса q_c и фрикционному отношению R_f

Возможный вид грунта	Выборка, n	Удельное сопротивление грунта внедрению конуса q_c , МПа	Фрикционное отношение R_f , %	$\frac{Cv(q_c)}{Cv(R_f)}$
Дресвяно-щебнистый грунт	29	$\frac{17,0-42,0}{25,8}$	$\frac{9,0-19,0}{12,2}$	$\frac{0,20}{0,16}$
Карбонатная мука	52	$\frac{1,2-2,4}{1,7}$	$\frac{0,6-6,0}{2,6}$	$\frac{0,14}{0,51}$

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе - среднее значение (выборочное); Cv – коэффициент вариации

Таблица 4.5 – Предел прочности на одноосное сжатие (R_c) различных зон выветривания

Район РТ (количество карьеров)	R_c , МПа			
	Зона Г массивный слабо измененный известняк	Зона В трещиноватый известняк подшвы структурного элювия	Зона В трещиноватый известняк кровли структурного элювия	Зона Б трещиноватый известняк бесструктурного элювия
Азнакаевский район (60 карьеров)	<u>63,1÷95,3</u> 78,7	<u>40,4÷55,2</u> 47,7	<u>18,1÷35,2</u> 26,3	<u>7,6÷11,1</u> 9,9
Альметьевский район (65 карьеров)	<u>51,4÷106,5</u> 78,3	<u>35,5÷60,5</u> 51,3	<u>12,0÷30,5</u> 24,4	<u>6,5÷10,0</u> 8,8
Бавлинский район (65 карьеров)	<u>68,1÷118,1</u> 81,6	<u>35,4÷59,2</u> 48,2	<u>18,7÷29,2</u> 25,0	<u>8,1÷11,7</u> 9,5
Бугульминский район (65 карьеров)	<u>50,8÷95,6</u> 75,1	<u>37,5÷47,5</u> 41,1	<u>14,2÷27,5</u> 20,4	<u>8,9÷11,2</u> 10,0
Ютазинский район (45 карьеров)	<u>56,7÷115,9</u> 80,4	<u>42,0÷52,0</u> 47,2	<u>12,4÷32,0</u> 26,1	<u>6,7÷10,4</u> 8,9
Лениногорский район (50 карьеров)	<u>69,7÷104,6</u> 78,0	<u>30,1÷57,1</u> 42,2	<u>18,2÷27,1</u> 25,1	<u>8,2÷10,1</u> 9,0
Сармановский район (50 карьеров)	<u>68,1÷115,1</u> 91,6	<u>35,4÷63,2</u> 49,3	<u>19,7÷29,2</u> 24,4	<u>8,4÷13,7</u> 11,0
Заинский район (20 карьеров)	<u>67,6÷100,2</u> 83,6	<u>34,4÷68,1</u> 51,2	<u>16,8÷27,8</u> 22,3	<u>7,4÷11,2</u> 9,3
Нижнекамский район (15 карьеров)	<u>67,1÷97,3</u> 82,2	<u>30,2÷56,7</u> 43,4	<u>14,5÷28,4</u> 21,4	<u>6,8÷10,7</u> 8,7
Тукаевский район (18 карьеров)	<u>67,8÷96,6</u> 82,2	<u>32,2÷57,7</u> 44,9	<u>14,2÷28,2</u> 21,2	<u>5,8÷10,4</u> 8,1
Муслюмовский район (16 карьеров)	<u>67,4÷95,4</u> 81,4	<u>31,4÷53,2</u> 42,3	<u>12,7÷29,2</u> 20,9	<u>6,5÷10,6</u> 8,5

Выводы по четвертой главе

1. Детальный анализ процессов выветривания карбонатных пород указывает на доминирование физической дезинтеграции. Основным фактором, определяющим данные процессы, являются сезонно-климатические перепады температур. Тонкие водные пленки, заполняющие трещины разгрузки и межзерновое пространство карбонатных пород, оказывают раскалывающее действие. При понижении температуры поверхностная энергия незамерзающих поровых вод на границах с твердой минеральной фазой возрастает. Создающиеся при этом напряжения приводят к разрыву межзерновых структурных связей в породах, способствуя их механическому разрушению. В данном случае процессы химического выветривания имеют второстепенное значение по сравнению с преобладающими физическими механизмами [82].

2. Элювиальные карбонатные грунты пространственно распространены на верхнем плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Согласно результатам детального изучения профилей выветривания карбонатных массивов, в их вертикальном разрезе установлено выделение следующих генетических горизонтов: а) горизонт структурного элювия - характеризуется сохранением первичной литологической структуры и текстуры материнских пород при некотором физико-химическом преобразовании минерального состава; б) горизонт бесструктурного элювия - отличается полной дезинтеграцией первичной структуры пород, их существенным механическим и минеральным изменением [88].

3. изменение минерального состава в карбонатных грунтах наблюдается в виде растворения кальцита и доломита, и постепенного накопления глинистых минералов.

ГЛАВА 5. ХАРАКТЕРИСТИКА СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ

5.1. Оценка изученности и общая оценка карстово-суффозионной опасности

Описательная информация о развитии на исследуемой территории инженерно-геологических процессов, таких как овражная эрозия, оползни, карст и суффозия, представлена в работах ряда ученых [1, 4, 5, 7, 56, 57, 63, 64, 79, 120, 117, 152, 162, 198, 201].

Исследования непосредственно карстово-суффозионных процессов на исследуемой территории еще в 1930-е годы занимались С.Г. Каштанов, П.С. Чернов, Н.В. Сементановский [71].

Позднее, в конце сороковых начале пятидесятих годов XX века появились первые работы по исследованию карста, выполняемых специализированными изыскательскими организациями, такими как Татнефтегазразведка, Приволжгипросельстрой, Меливодстрой и др. Начиная с этого периода начинается накопление результатов буровых работ, лабораторных исследований карстующихся преимущественно карбонатных пород в пермских и девонских отложениях.

Первые системные исследования связаны с именами М.С. Кавеева, Б.В. Васильева, Ф.С. Хабибуллиной, которые начали работы по комплексному анализу экзодинамических процессов на территории Республики Татарстан. Результатами исследований стали первые региональные таблицы свойств пород, описание закономерностей развития карстово-суффозионных процессов.

Впервые были составлены различные карты и схемы распространения и интенсивности проявлений с построением различных схематических карт и схем. Пример одной из таких схем приведен на рисунке 5.1.

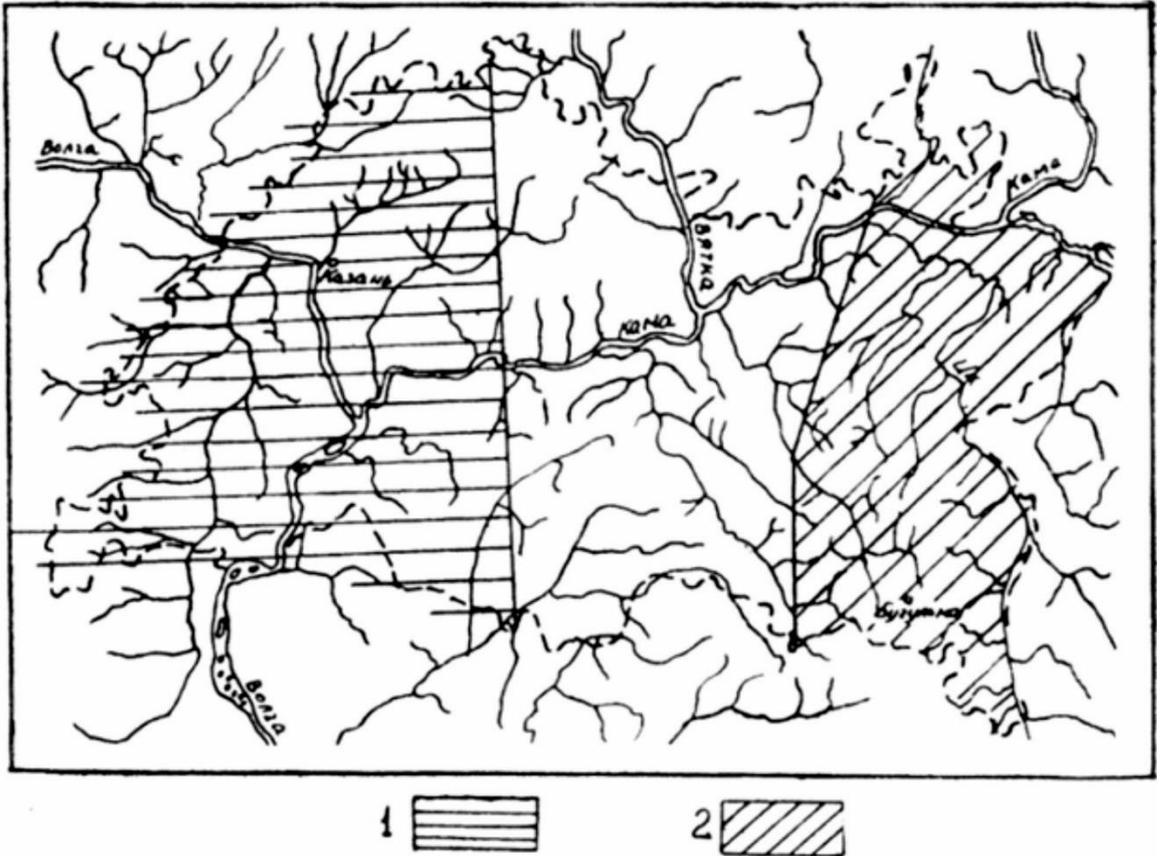


Рисунок 5.1. Карта поверхностных проявлений карста на территории Татарской республики: 1 – зона распространения карстовых провалов, связанных с распространением карбонатов и гипсов верхнепермского возраста; 2 – зона распределения карстовых провалов, связанных с растворением гипсов и известняков нижнепермского возраста (авторы: М.С. Кавеев, Б.В. Васильев)

Более поздние работы А.В. Ступишина (1961) были посвящены изучению глубинного карста, обусловленного с наличием зон тектонических поднятий. В качестве карстующихся рассматривались карбонатно-сульфатные толщи сакмарско-артинского возраста. В качестве факторов развития карста были названы приподнятое положение верхнепалеозойских отложений относительно базисов эрозии, а также гидрогеологические условия территорий.

Исследованиями было установлено, что максимальная концентрация карстовых форм наблюдается на первых и вторых надпойменных террасах речных долин, что связывалось с благоприятными геолого-геоморфологическими и гидрогеологическими условиями [82].

К наиболее масштабным исследованиям, посвященных описанию карста на территории Татарстана, относят работу [65]. Авторы на основании анализа

данных структурного бурения более 10 000 скважин выполнили анализ глубин залегания карстующихся пород. Данные 2527 скважин со следами карстования в разрезе были вынесены на карту. Фрагмент карты показан на рисунке 5.2. Авторами преимущественно исследовалась связь карстовых зон в нижнепермских отложениях с зонами разломов дизъюнктивных нарушений фундамента, нижней и средней части осадочного чехла. Глубина залегания верхней границы закарстованных пород изменялась в интервале от 0 до 375 м.

На построенную карту были нанесены участки поверхностных проявлений карстовых и суффозионных процессов (по данным В.В. Югина). Несмотря на наличие некоторых очевидных тенденций увеличения плотности воронок ближе к долинам крупных рек, в целом отсутствует какая-либо взаимосвязь между глубиной залегания карстующихся пород и плотностью карстово-суффозионных форм. Например, согласно карте на большей части территории Камско-Бельской низины карстующиеся породы отсутствуют до глубины 300 м, однако количество воронок здесь самое высокое.

В большинстве исследований упор сделан именно на карст [6, 18, 20, 36, 54, 68, 69, 70, 72, 78, 80, 113, 114, 139, 140]. Вместе с тем известно, что суффозия оказывает весьма существенное воздействие на карстовые процессы. Многочисленными исследованиями установлено, что проявления карста на поверхности во многих случаях связаны с суффозионными явлениями в некарстующихся горных породах, покрывающих карстующиеся.

Маршрутное обследование территории Восточного Закамья показало, что подавляющее большинство выявленных воронок имеют суффозионный характер, особенно на участках эрозионно-денудационного рельефа. По-видимому, на участках аккумулятивного рельефа, характеризующегося повышенной трещиноватостью (региональные разломы), активным гидрогеологическим режимом, карстовые процессы могут протекать более активно и масштабно и связаны в большей степени с растворением карстующихся пород, часто залегающих на больших глубинах [52, 53, 137].

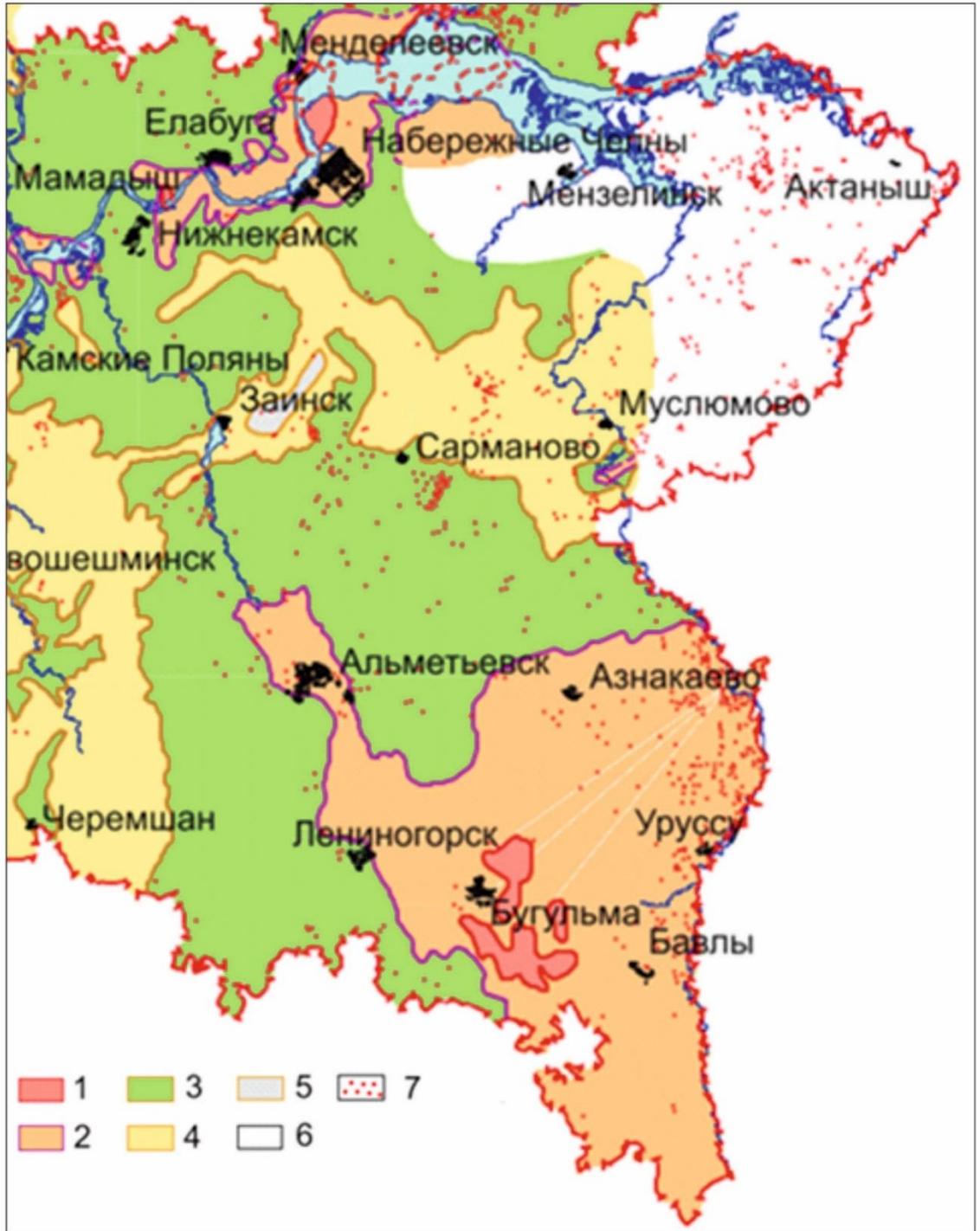


Рисунок 5.2. Фрагмент карты районирования глубин залегания карстующихся пород и поверхностного проявления карстовых процессов территории Республики Татарстан по данным структурного бурения и полевых исследований масштаба 1:500000. Составлена К.М. Мирзоев, В.П. Степанов и др.

Зоны кровли залегания карстующихся пород на глубинах: 1) от 0 до 50 м, 2) от 51 до 100 м, 3) от 101 до 200 м, 4) от 201 до 300 м, 5) более 300 м, 6) участки отсутствия на глубинах до 300 м кровли карстующихся пород, 7) участки поверхностных проявлений карстовых и суффозионных процессов (по данным Югина В.В.)

Так, наибольшая пораженность характерна для речных долин рек Шешма, Шешма, Степной Зай, Ик (рисунок 5.3). Самые крупные формы рельефа приурочены к озерам. Средняя пораженность аккумулятивных террас рек провалами составляет $1,3 \text{ м}^2/\text{км}^2$. Элювиальные грунты на этих участках практически полностью отсутствуют в результате смыва отложений.



Карстово-суффозионная воронка (речная долина р. Шешма)



Карстово-суффозионная воронка (речная долина р. Ик)

Рисунок 5.3. Карстово-суффозионные воронки на эрозионно-аккумулятивных террасах рек

Более масштабные по размерам воронки наблюдаются в склоновой части рек. Здесь можно встретить провальные воронки диаметром 20–25 м (рисунок 5.4). Пораженность этой территории провалами – $0,69 \text{ м}^2/\text{км}^2$, плотность воронок до $0,1 \text{ шт}/\text{км}^2$. Наибольшая пораженность характерна для склонов речных долин крупных рек ИК, Кичуй, Шешма, Степной Зай, Мелля, Дымка.



Карстово-суффозионная воронка
(п. Калейкино)



Карстово-суффозионная воронка
(п.Верхний Акташ)

Рисунок 5.4. Карстово-суффозионные воронки на эрозионно-аккумулятивных нижних частях склонов



Карстово-суффозионная воронка
(п.Бакалы)



Карстово-суффозионная воронка
(п.Нижняя Мактама)

Рисунок 5.5. Карстово-суффозионные воронки на эрозионных поверхностях средней части склонов

На участках водоразделов и приводораздельных склонах более активно протекает суффозия, связанная с наличием суффозионно неустойчивых грунтов, к которым часто относятся элювиальные грунты. При этом процесс в отличие от карста имеет поверхностный характер и воронки здесь менее масштабные. Дополнительным фактором развития суффозии является трещиноватость подстилающих дисперсную массу массивов, а также величины гидравлических градиентов. Подробный анализ сочетания различных факторов приведен в последующих параграфах.

Воронки на эрозионно-денудационных поверхностях приводораздельных частей склонов имеют преимущественно чашеобразную и блюдцеобразную форму диаметром от 1,3 до 10,0 м (рисунок 5.6). Дно воронок чаще сухое. Пораженность этой формы рельефе составляет $0,65 \text{ м}^2/\text{км}^2$, плотность воронок до $0,06 \text{ шт}/\text{км}^2$.



Суффозионная воронка (п. Кудашево)



Суффозионная воронка (п. Райлан)

Рисунок 5.6. Карстово-суффозионные воронки на эрозионно-денудационных поверхностях приводораздельных частей склонов

На эрозионно-денудационных поверхностях водоразделов активно развивается суффозия с образованием соответствующих форм рельефа (рисунок 5.7).



Суффозионная воронка у п. Карамалы
Азнакаевский район



Суффозионная воронка у п. Ютазы
Ютазинский район

Рисунок 5.7. Суффозионные воронки на эрозионно-денудационных поверхностях водоразделов

Распределение провалов по территории неравномерное и часто несистемное. Общее количество воронок на водораздельных частях – 1905 для Бугульмино-Белебеевской возвышенности и 390 для Камско-Бельской низменности. Диаметры воронок находятся в пределах 0,3–8,0 м, форма воронок – преимущественно чашеобразная и реже блюдцеобразная. Дно воронок чаще сухое. Пораженность территории провалами составляет $0,58 \text{ м}^2/\text{км}^2$, плотность воронок до $0,1 \text{ шт}/\text{км}^2$.

На рисунке 5.8 приведена построенная в процессе маршрутного обследования пораженности исследуемой территории карстово-суффозионными формами.



Рисунок 5.8. Карта пораженности территории Восточного Закамья карстово-суффозионными формами

Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

Количественная информация о выявленных карстово-суффозионных воронках в различных инженерно-геологических районах приведена в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Количественное распространение карстово-суффозионных воронок территории Восточного Закамья

Области	Районы		Площадь, км ²	Количество воронок, шт.
Камско-Бельская низменность	Эрозионно-денудационные приводораздельные	Среднее/нижнее плато	1032	92
		Нижнее плато/склоны	651	42
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Среднее плато	2298	200
		Нижнее плато	997	190
Бугульминско-Белебеевская возвышенность	Эрозионно-денудационные приводораздельные	Верхнее/среднее плато	1251	136
		Среднее/нижнее плато	1911	213
		Нижнее плато/склоны	1178	110
	Эрозионно-денудационные водораздельные	Верхнее плато	3792	150
		Среднее плато	8110	1048
		Нижнее плато	5698	707

(общее количество воронок 2888)

5.2. Количественная оценка суффозионности грунтов бесструктурного карбонатного элювия

Для оценки суффозионности грунтов бесструктурного элювия использовались общепринятые методики П-56-90/ВНИИГ [123] и П-49-90/ВНИИГ [121], а также ряд теоретических разработок [59, 162]. В основу оценки были положены данные, полученные в ходе диссертационного исследования, выполненного для территории Бугульминского плато Бугульмино-Белебеевской возвышенности [23].

Методика определения потенциальной суффозионной неустойчивости грунтов базируется на анализе параметров их гранулометрического состава. Ключевым критерием несуффозионности грунтового массива является условие, при котором из его толщи при любых скоростях фильтрации не происходит вымывание частиц минимального размера d_{min} .

Размеры частиц, способных быть вынесенными фильтрационным потоком, сопоставляются с максимальным диаметром фильтрационных ходов в грунте d_{ci}^{max} .

Если окажется, что

$$d_{ci}^{max} = 0,77d_0^{max} > d_{min}, \quad (5.1)$$

то грунт считается суффозионным.

Если окажется, что

$$d_{ci}^{max} = 0,77d_0^{max} < d_{min}, \quad (5.2)$$

то грунт считается несуффозионным. Из такого грунта не могут выноситься и самые мелкие его частицы— $d_{3\%}, d_{5\%}$ [123].

Диаметр максимального фильтрационного хода в грунте определяется следующих теоретических зависимостей с учетом процессов сегрегации грунта:

$$d_0^{max} = xC \frac{n}{1-n} d_{17}, \quad (5.3)$$

где x — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте, или коэффициент локальности суффозии. Параметр C определяется по формуле:

$$C = 0,46\sqrt[6]{C_u}, \quad (5.4)$$

Коэффициент x зависит в основном от коэффициента неоднородности грунта C_u . Для практических расчетов можно принять:

а) для гранулометрического состава грунтов с $C_u \leq 25$

$$x = 1 + 0,05C_u, \quad (5.5)$$

б) для гранулометрического состава грунтов с $C_u > 25$

$$x = 0,35(2 + \sqrt{C_u}), \quad (5.6)$$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (5.7)$$

Оценка суффозионной опасности грунта основывается на следующих утверждениях: если $C_u > 20$ грунт следует считать суффозионным, $C_u = 10-20$ переходным, $C_u < 10$ грунт следует считать несуффозионным.

Согласно второму подходу к оценке суффозионности, при незначительном выносе мельчайших частиц грунта без существенного нарушения прочности грунта грунт считается несуффозионным [93, 94, 95]. Процент такого выноса ограничен значениями 3–5 % по массе.

Математически это выражено условием

$$\frac{d_{5\%}}{d_{17\%}} \geq N, \quad (5.8)$$

где
$$N = 0,10\sqrt[6]{C_u}(2 + \sqrt{C_u}) \frac{n}{1-n}, \quad (5.9)$$

Если зависимость не удовлетворяется, грунт считается суффозионным.

Исследования проводились для элювиальных карбонатных грунтов зоны А, полностью утративших признаки скальной породы, и, представляющую собой

дисперсную породу от муки до крупнообломочного грунта. Исследуемая выборка составляла 194 пробы карбонатных элювиальных грунтов с коэффициентами неоднородности от 1 до 30. Для статистической обработки грунты были разделены на 15 диапазонов в зависимости от значения коэффициента неоднородности C_u (Таблица 5.1). Кривые неоднородностей показаны на рисунках 5.9, 5.10 и 5.11 [70].

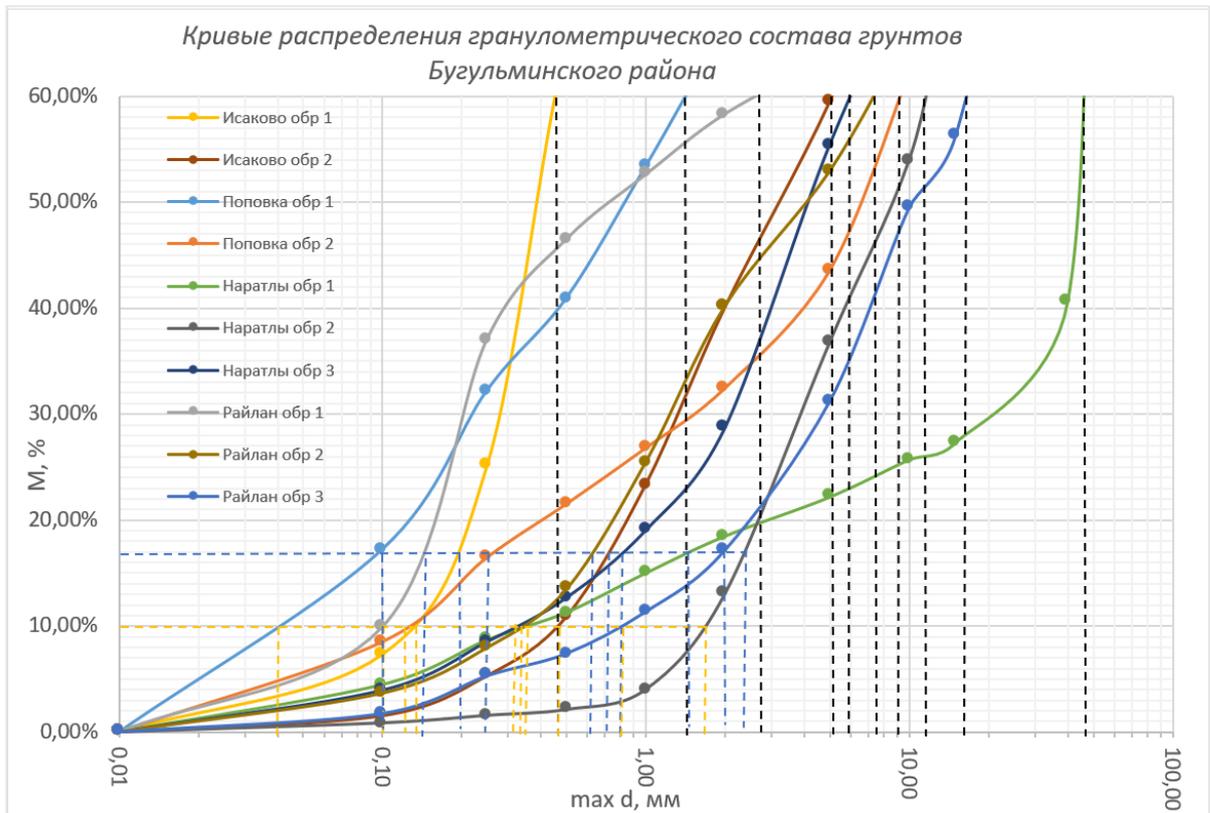


Рисунок 5.9 Кривые распределения гранулометрического состава
элювиальных грунтов Бугульминского района

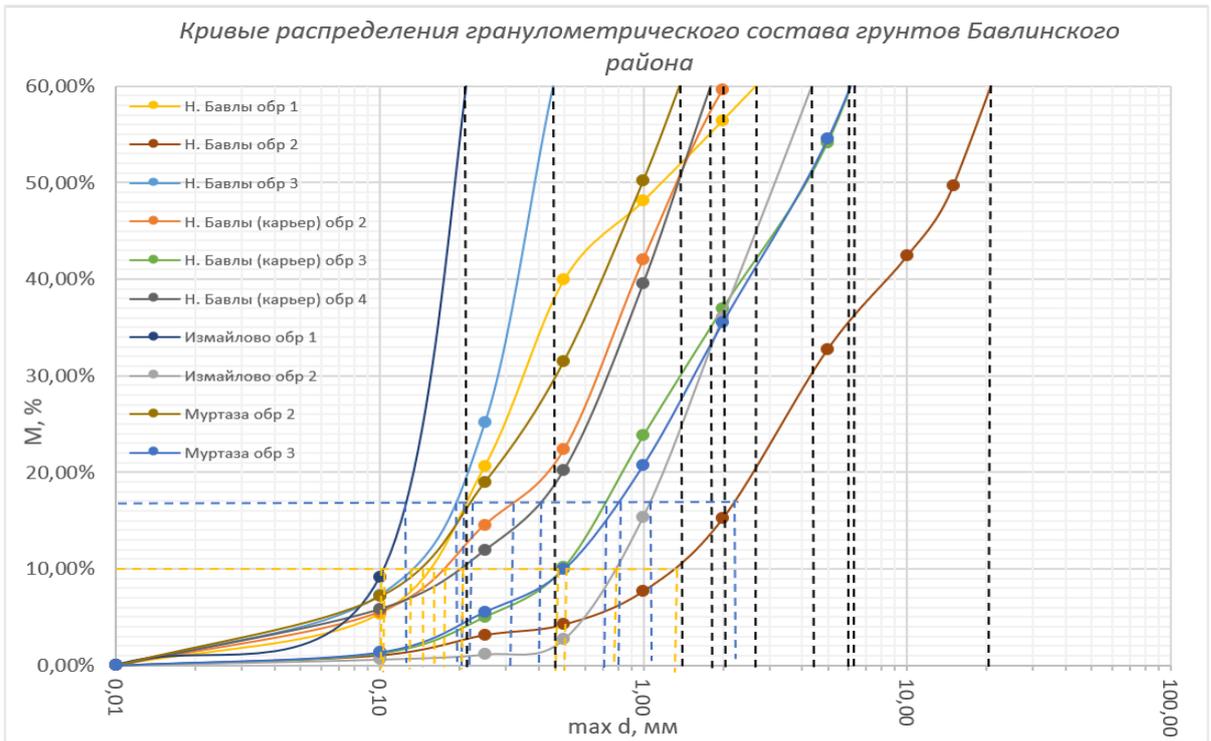


Рисунок 5.10. Кривые распределения гранулометрического состава элювиальных грунтов Бавлинского района

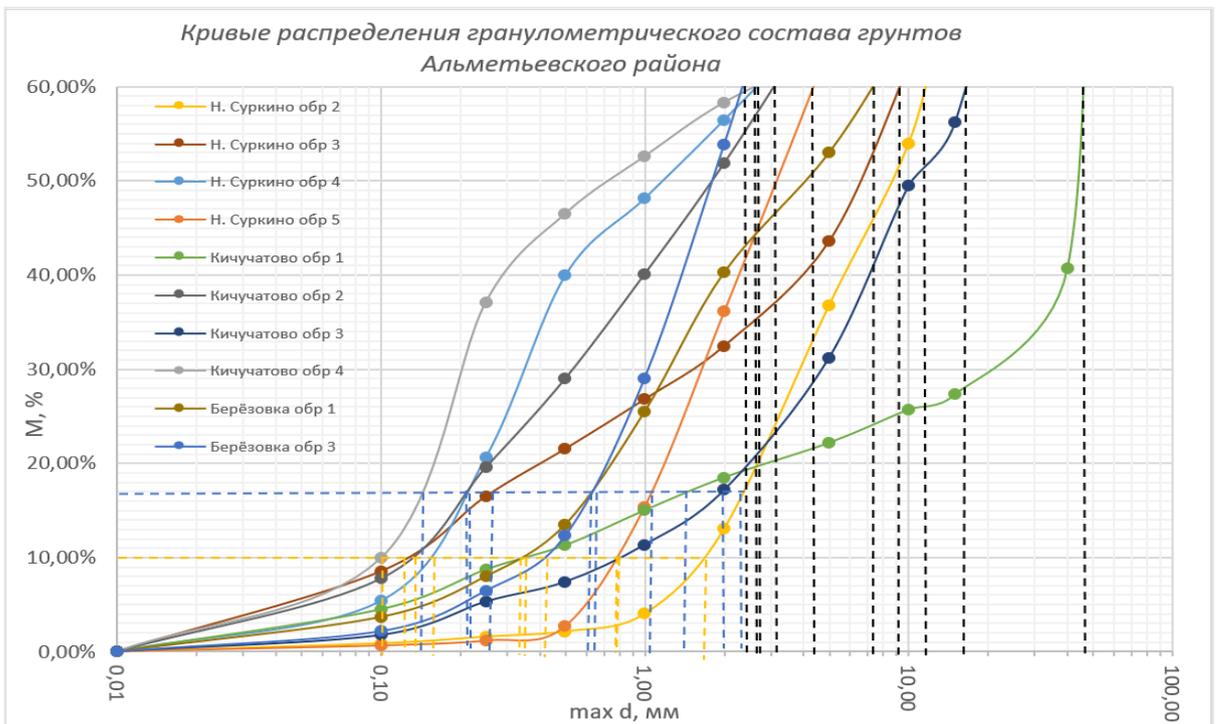


Рисунок 5.11. Кривые распределения гранулометрического состава элювиальных грунтов Альметьевского района

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты определения параметров суффозионности грунтов бесструктурного элювия (Зона А) (по данным А.Н. Гараевой, 2022)

C_u	Размер частиц d, мм				d_5/d_{17}	N	c	$d_0 \max,$ мм	$d_{ci} \max,$ мм
	$d_5,$ мм	$d_{10.мм}$	$d_{17.мм}$	$d_{60.мм}$					
1.0-2.0	0.15	0.17	0.23	0.33	0.66	0.03	0.15	0.04	0.03
2.0-4.0	0.11	0.12	0.15	0.38	0.70	0.05	0.24	0.05	0.04
4.0-6.0	0.08	0.12	0.19	0.64	0.41	0.09	0.41	0.13	0.10
6.0-8.0	0.18	0.21	0.25	1.60	0.72	0.13	0.31	0.24	0.20
8.0-10.0	0.03	0.11	0.16	1.50	0.28	0.28	1.02	0.53	0.44
10.0-12.0	0.05	0.12	0.18	1.70	0.29	0.33	1.09	0.64	0.49
12.0-14.0	0.04	0.12	0.14	2.00	0.29	0.36	1.20	0.67	0.51
14.0-16.0	0.03	0.08	0.10	1.50	0.30	0.42	1.44	0.59	0.46
16.0-18.0	0.03	0.07	0.11	1.65	0.27	0.59	1.81	1.00	0.77
18.0-20.0	0.03	0.10	0.11	2.80	0.27	0.76	2.15	1.25	0.95
20.0-22.0	0.10	0.13	0.20	2.80	0.49	0.52	1.65	1.53	1.18
22.0-24.0	0.10	0.16	0.25	3.10	0.40	0.44	1.49	1.58	1.21
24.0-26.0	0.03	0.13	0.15	3.50	0.20	0.72	2.06	1.70	1.30
26.0-28.0	0.10	0.14	0.16	4.00	0.63	0.78	2.19	2.07	1.60
28.0-30.0	0.08	0.16	0.18	4.7	0.44	0.82	2.25	2.46	1.89

В результате можно сделать следующие выводы:

1) для всех грунтов, с коэффициентом неоднородности C_u меньше 8, выполняется условие (5.8). Это означает, что такие грунты можно считать суффозионно устойчивыми;

2) условие не выполняется для грунтов со значениями $C_u > 10$. Это значение может рассматриваться как критерий перехода в суффозионно неустойчивое состояние;

3) Диапазон $C_u = 8-10$ является переходным между суффозионно устойчивыми и суффозионно неустойчивыми грунтами [23].

На основании данных таблицы 5.1 видно, что для значения коэффициента неоднородности равным 8 характерно существенное изменение диаметра

наибольшего фильтрационного хода в грунте d_{ci}^{max} со значения 0,20 в предыдущем диапазоне до 0,44. В диапазоне значений C_u от 8 до 16 это изменение несущественно. Начиная со значения C_u равным 16, параметр d_{ci}^{max} начинает резко расти, увеличиваясь в 2–4 раза [23].

На основании этих исследований было принято, что граничным значением коэффициента неоднородности, при котором карбонатный элювиальный грунт может рассматриваться как несуффозионный, должно быть значение равным 8. Грунты с коэффициентами неоднородности больше 16 следует считать суффозионно неустойчивыми. Диапазон $C_u=10\div 16$ является переходным.

Для визуализации и использования полученных данных при общей оценке суффозионности территории была построена карта степени неоднородности гранулометрического состава карбонатных элювиальных грунтов в программной среде ArcMap 10.8 (рисунок 5.12).

Сопоставляя полученные данные о неоднородности элювиальных карбонатных грунтов с расположением карстово-суффозионных форм на исследуемой территории, показанных на рисунке 5.8, можно сделать следующие выводы.

Согласно анализу фактических данных, наименьшая суффозионная опасность развита на эрозионно-денудационных водоразделах с максимальными абсолютными отметками поверхности, расположенных в междуречьях рек Шешма и Степной Зай, Степной Зай и Мелля, Степной Зай, Ик и Дымка, Дымка, Ик и Киндыз. Данные территории характеризуются низкими значениями коэффициента неоднородности ($C_u=0-10$) бесструктурного элювиального грунта. На этих участках практически отсутствует проявление суффозионных и карстово-суффозионных процессов.

Таким образом, результаты анализа фактического материала свидетельствуют, что наименьшая суффозионная опасность характерна для эрозионно-денудационных водоразделов с высокими абсолютными отметками и низкой неоднородностью элювиальных грунтов.

Наибольшая суффозионная опасность развита на эрозионно-аккумулятивных нижних и средних частях склонов вдоль крупных рек Шешма, Кичуй, Степной Зай, Ик, Мелля, Дымка. Для указанных участков характерны высокие значения коэффициента неоднородности ($C_u=19-30$) бесструктурного элювиального грунта. На этих территориях часто наблюдаются провального типа карстовые воронки, диаметр которых достигает 10 м и более. Данный факт свидетельствует об одновременном протекании процессов карстообразования и суффозии [23].

Высокая неоднородность грунтового состава является основным фактором, определяющим повышенную суффозионную опасность на эрозионно-аккумулятивных склонах вдоль крупных речных долин. Увеличение гранулометрической неоднородности способствует интенсификации выноса мелкодисперсных частиц грунта, что приводит к образованию карстово-суффозионных проявлений.

То есть можно говорить о прямой зависимости между количеством карстово-суффозионных проявлений и неоднородностью гранулометрического состава карбонатных элювиальных грунтов. Интегральный анализ суффозионной опасности территории с учетом в том числе фактора неоднородности приведен в п. 5.6.

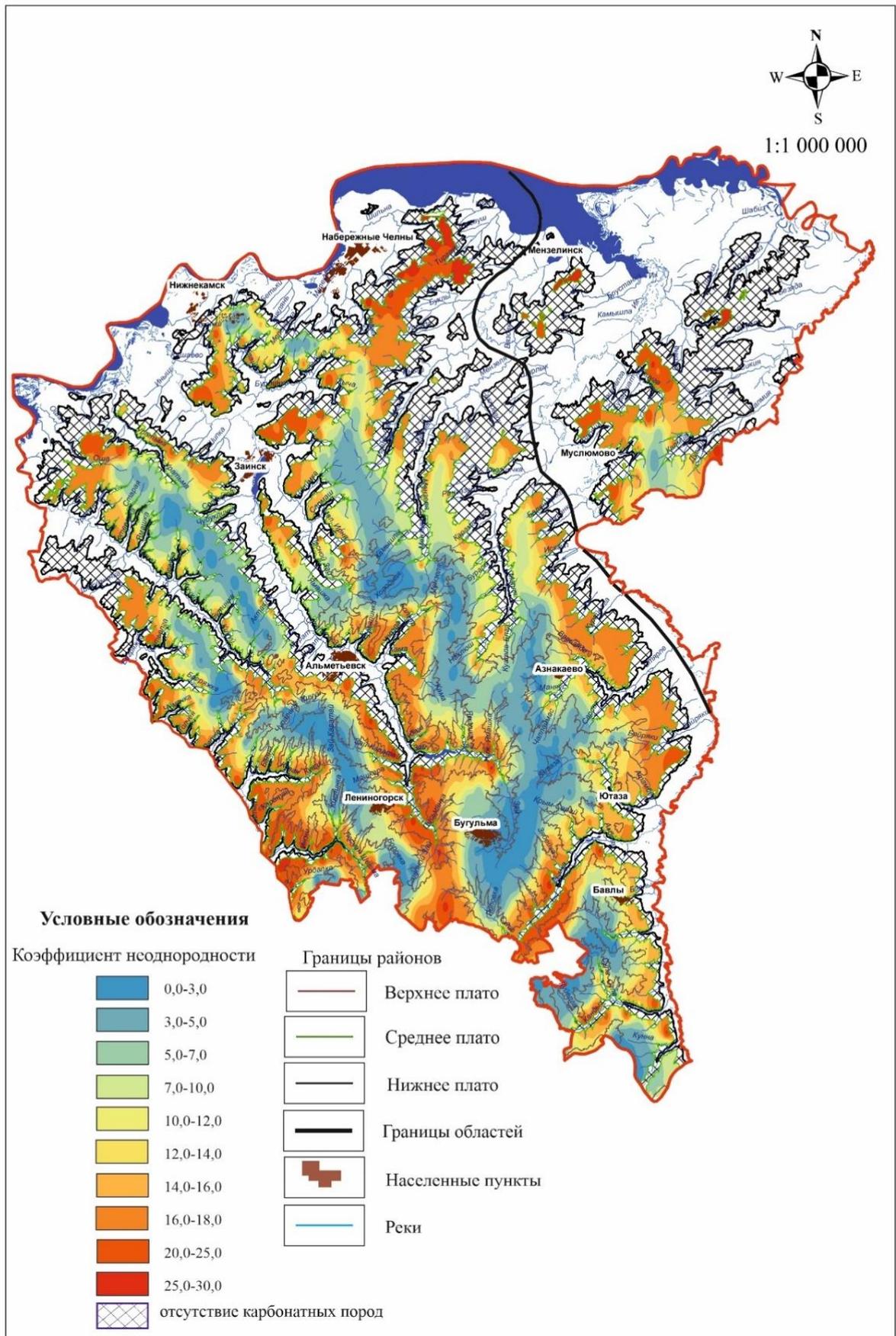


Рисунок 5.12. Карта неоднородности элювиальных карбонатных грунтов
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

5.3. Количественная оценка суффозионности терригенного элювия

Количественно суффозионность терригенных грунтов была оценена с использованием тех же методик П-56-90/ВНИИГ [123] и П-49-90/ВНИИГ [121], как и для карбонатных грунтов. Оценка проводилась для элювиальных песков зоны А, полностью утративших признаки скальной породы, и, соответственно, не обладающих цементированностью. Для проведения исследования были проанализированы 96 проб элювиальных песков, из которых были отобраны 12 разновидностей песков с различными значениями коэффициентов неоднородности гранулометрического состава. В итоге грунты были распределены по 12 диапазонам с C_u от 1 до 7 (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Гранулометрический состав экспериментальных образцов элювиальных песков (зона А)

№ пробы	Размеры частиц, мм							C_u	Наименование
	10 ÷ 5	5 ÷ 2	2 ÷ 1	1 ÷ 0,5	0,5 ÷ 0,25	0,25 - ÷ 0,10	0,10 - ÷ 0,05		
1					2,1	10	87,9	1÷1,5	Песок пылеват.
2					12,9	17,1	70,0	1÷2	Песок пылеват.
3			1,9	21,4	60,6	12,2	3,9	2÷2,5	Песок ср.крупн.
4		3,5	3,1	5,2	7,5	49,9	30,8	2,5÷3	Песок пылеват.
5			1,8	6,5	49,6	33,7	8,4	3÷3,5	Песок ср.крупн.
6	3,4	5,7	3,8	20,7	46,2	12	8,2	3,5÷4	Песок ср.крупн.
7	3,4	10,5	3,5	3,8	22,2	33,4	23,2	4÷4,5	Песок мелкий
8	1,1	2,1	3,9	21,1	44,4	15,2	12,2	4,5÷5	Песок ср.крупн.
9	2,7	3,1	3,2	18,8	42,1	13,0	17,1	5÷5,5	Песок ср.крупн.
10	3,1	4,1	3,0	19,8	40,1	11,7	18,2	5,5÷6	Песок ср.крупн.
11	2,2	4,2	7,5	16,8	31,5	14,6	23,2	6÷6,5	Песок ср.крупн.
12	4,6	14,5	10,8	13,5	29,6	14,4	12,6	6,5÷7	Песок ср.крупн.

В таблице 5.4 показаны результаты определения суффозионности песков 12 разных гранулометрических составов. Видно, что условие (5.8) выполняется

для песков с коэффициентом неоднородности $C_u < 3$. Т.е. грунты с коэффициентами неоднородности менее 3 можно считать суффозионно устойчивыми. В интервале значений $C_u = 3-5,5$ условие (5.8) не выполняется, но значения параметра N и отношения $\frac{d_{5\%}}{d_{17\%}}$ имеют близкие значения. Поэтому этот диапазон можно считать переходным. Пески с коэффициентов неоднородности более 5,5 следует считать суффозионно неустойчивыми.

Таблица 5.4 – Результаты определения параметров суффозионности элювиальных песков (Зона А)

C_u	Размер частиц d, мм				d_5 / d_{17}	N	d_0 max, мм	d_{ci} max, мм
	$d_{5.}$ мм	$d_{10.}$ мм	$d_{17.}$ мм	$d_{60.}$ мм				
1÷1,5	0,012	0,018	0,025	0,018	0,480	0,071	0,003	0,003
1÷2	0,014	0,020	0,026	0,040	0,538	0,170	0,007	0,006
2÷2,5	0,011	0,200	0,025	0,500	0,440	0,231	0,009	0,007
2,5÷3	0,025	0,110	0,190	0,330	0,132	0,298	0,086	0,066
3÷3,5	0,075	0,105	0,240	0,370	0,313	0,376	0,129	0,099
3,5÷4	0,038	0,070	0,090	0,280	0,422	0,454	0,056	0,043
4÷4,5	0,075	0,100	0,230	0,450	0,326	0,543	0,166	0,127
4,5÷5	0,041	0,065	0,076	0,325	0,539	0,639	0,062	0,048
5÷5,5	0,060	0,080	0,100	0,440	0,600	0,741	0,092	0,070
5,5÷6	0,028	0,061	0,081	0,365	0,346	0,848	0,082	0,064
6÷6,5	0,030	0,065	0,062	0,420	0,484	0,959	0,070	0,054
6,5÷7	0,075	0,100	0,082	0,700	0,915	1,093	0,101	0,078

Для визуализации и использования полученных данных при общей оценке суффозионности территории была построена карта степени неоднородности гранулометрического состава терригенных элювиальных грунтов в программной среде ArcMap 10.8 (рисунок 5.13).

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что пески большей части территории Восточного Закамья имеют коэффициенты неоднородности больше 3 и могут считаться суффозионно неустойчивыми. Самая низкая неоднородность наблюдается на водоразделах нижнего плато Камско-Бельской низины и Бугульмино-Белебеевской возвышенности и в приводораздельных частях склонов, разделяющих низкое и среднее плато [82]. За исключением этих территорий вся остальная часть Восточного Закамья следует считать потенциально суффозионно опасной с точки зрения неоднородности терригенных элювиальных грунтов. При этом максимальные значения коэффициента неоднородности ($C_u=5-7$) имеют элювиальные пески водоразделов среднего плато, что объясняется, по-видимому, преобладанием на этой территории преимущественно среднезернистых и мелкозернистых песчаников, в то время как тонкозернистые песчаники распространены больше на территории нижнего плато.

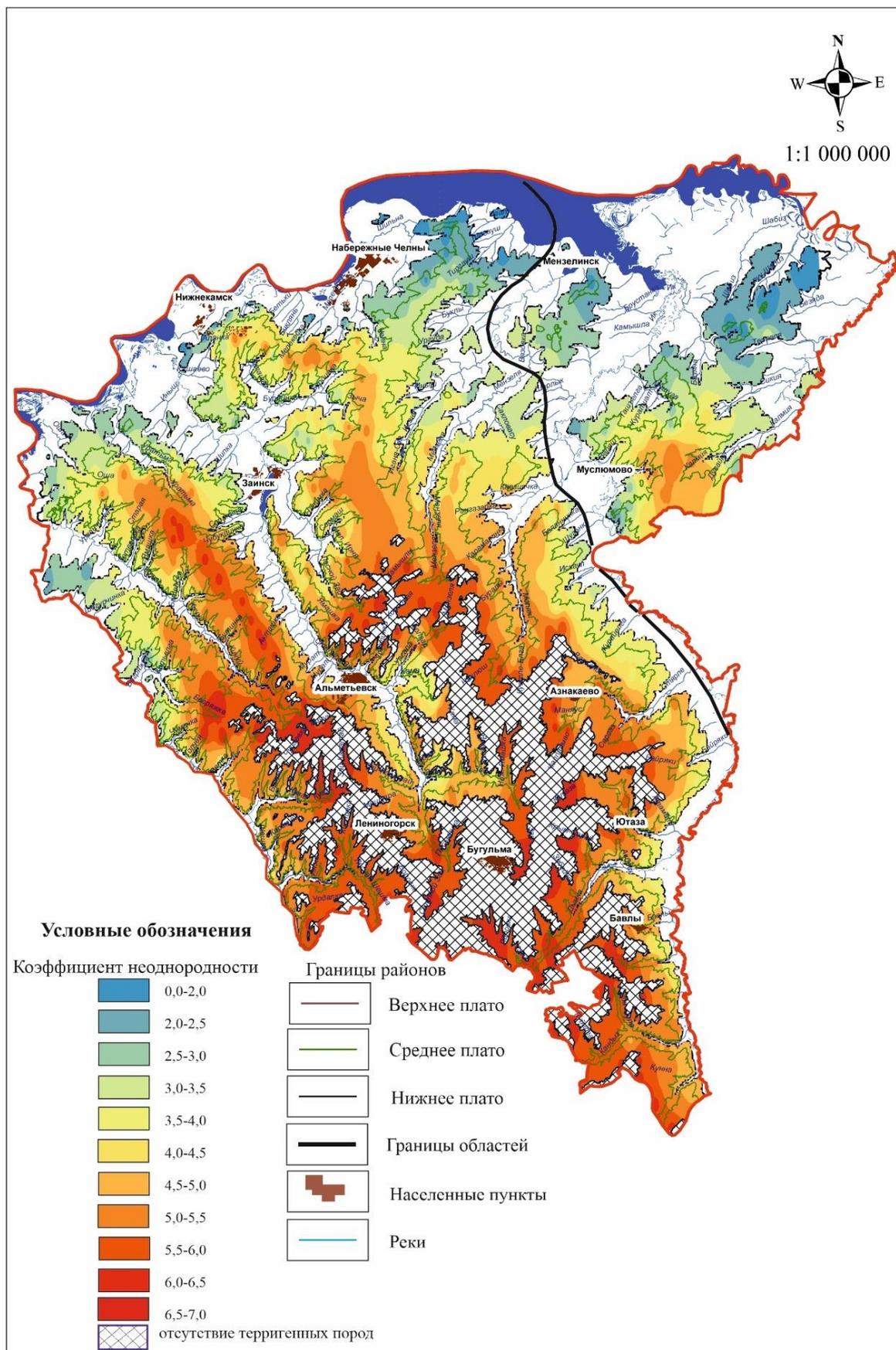


Рисунок 5.13. Карта неоднородности грунта терригенного элювия
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

5.4. Оценка трещиноватости зоны структурного карбонатного элювия

Анализ геологического строения массивов территории Восточного Закамья позволяет с уверенностью говорить о том, что основным механизмом развития суффозионных процессов является вынос дисперсной массы в трещиноватый скальный массив [110].

Очевидно, что в этом случае интенсивность протекания суффозии будет в значительной степени определяться параметрами трещиноватости массивов.

При проведении маршрутного обследования и описании точек наблюдения в карьерах и обнажениях были задокументированы 242 площадки трещиноватости с определением параметров согласно СП 23.13330.2018 [145] и ГОСТ 25100–2020 [42].

Пример описания площадки трещиноватости приведен на рисунке 5.14.

Дифференцирование грунтовых массивов по степени трещиноватости осуществлялось с определением следующих параметров.

1. Коэффициент трещинной пустотности $K_{ТП}$ как отношение суммарной площади трещин $S_{ТР}$ к площади измерения $S_{ИЗМ}$

$$K_{ТП} = \frac{S_{ТР}}{S_{ИЗМ}} 100\%, \quad (5.10),$$

где отношение суммарной площади трещин $S_{ТР}$ - суммарная площадь трещин, $S_{ИЗМ}$ - площадь измерения.

2. Модуль трещиноватости

$$M = \frac{\Delta n}{\Delta L}, \quad (5.11)$$

где Δn - число трещин, пересекающих линию длиной ΔL , перпендикулярную к направлению их простирания. В таблице 5.5 приведены результаты классификации грунтовых массивов.

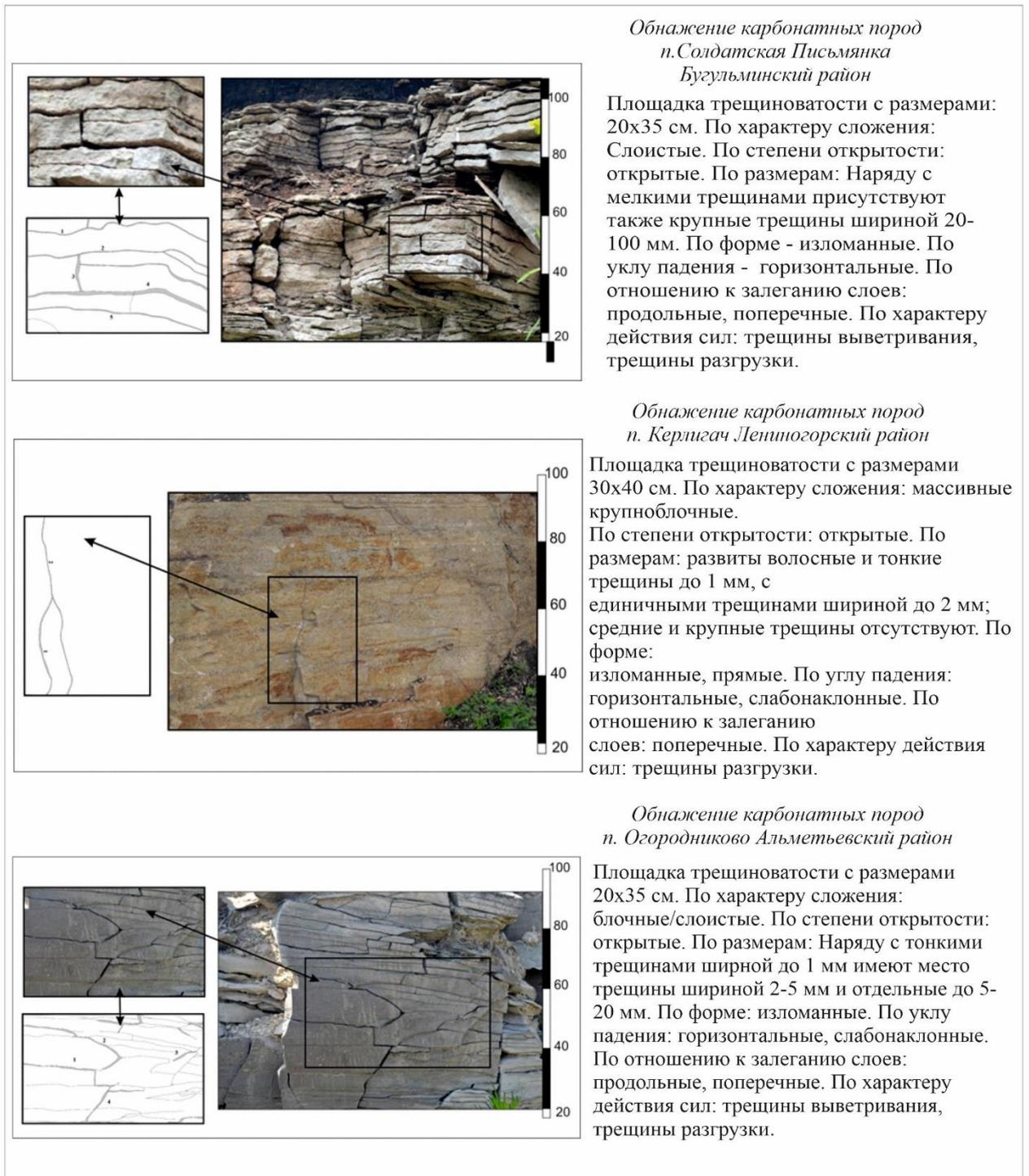


Рисунок 5.14. Схема описания площадок трещиноватости

Таблица 5.5 – Значения трещиноватости зоны структурного элювия (зона В)
(На основании данных А.Н. Гараевой, 2023)

Степень трещиноватости (ГОСТ 25100-2020)	Количество площадок, шт.	Модуль трещиноватости, М, %	Коэффициент трещинной пустотности, Ктп, %	Ширина раскрытия трещин, t, мм
Очень слаботрещиноватые	60	<1,5	0,0÷0,08	0.01÷0.44
Слаботрещиноватые	81	1,5÷5	0,1÷0,5	0.1÷1.0
Среднетрещиноватые	65	5÷10	0,6÷2,0	0.8÷2.4
Сильнотрещиноватые	36	10÷30	2,2÷3,4	1,4÷4.3

Это позволило выполнить районирование исследуемой территории по степени трещиноватости пород (рисунок 5.15).

Видно, что очень слаботрещиноватые и слаботрещиноватые породы распространены на эрозионно-денудационных водоразделах, что соответствует междуречьям крупных рек региона, таких как Ик, Степной Зай, Мелля, Дымка, Киндыз и Шешма. На территории Камско-Бельской низины трещиноватые породы встречаются только на участке среднего плато вблизи населенного пункта Муслумово.

Средняя и сильная степень трещиноватости характерна для пород, расположенных на нижних и средних частях склонов крупных рек и их приводораздельных частях. Очевидно, что это связано процессами, происходящими как на этапах формирования речных долин, так и дальнейшими преобразованиями из-за эрозионной деятельности рек.

Таким образом, трещиноватость скальных массивов находится в прямой взаимосвязи как с тектоническими нарушениями, так и эрозионной деятельностью водных объектов.

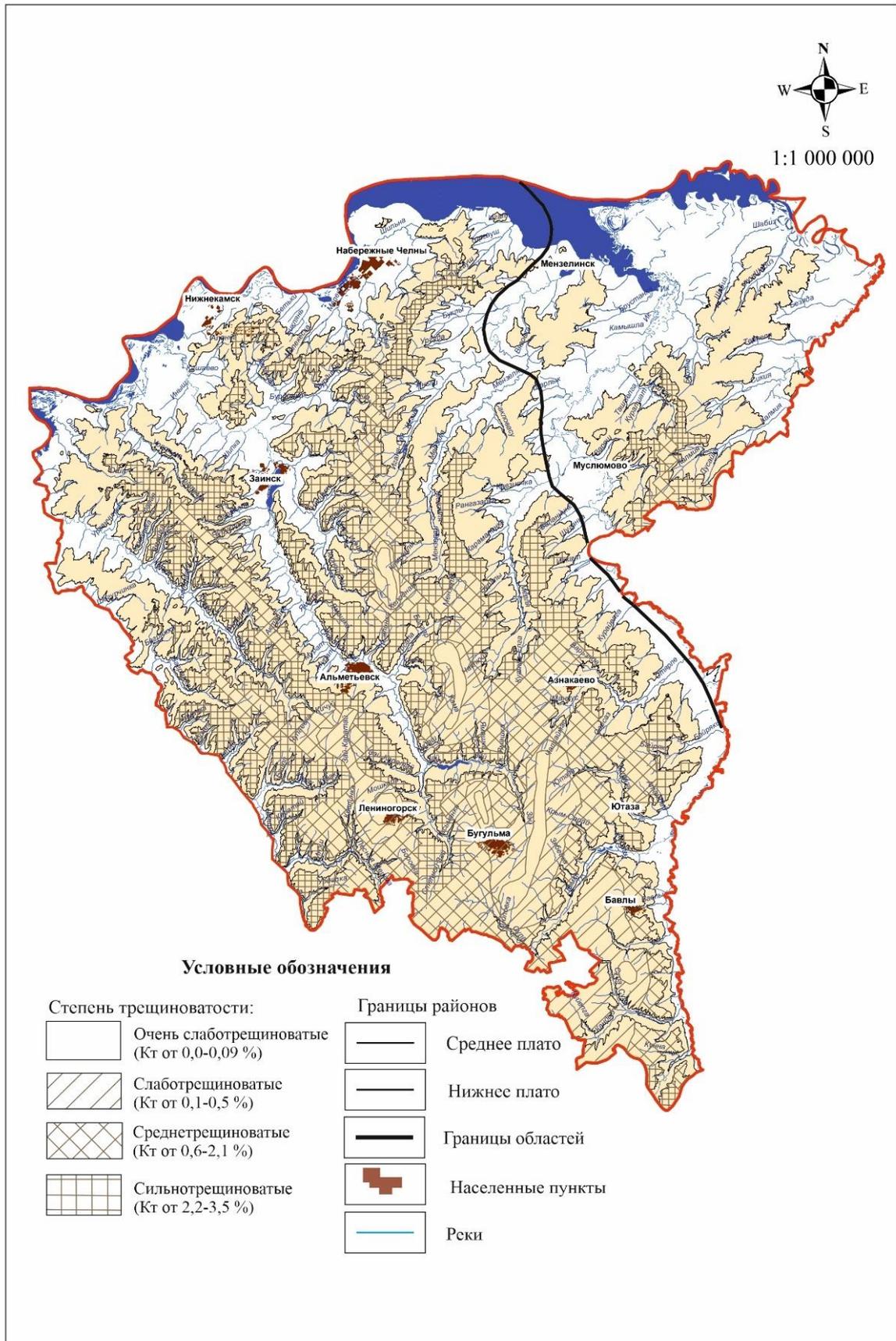


Рисунок 5.15. Карта степени трещиноватости карбонатных массивов структурного элювия

Авторы: А.И. Латышов, А.Н. Гараева

5.5. Результаты экспериментальных исследований развития процесса суффозии в карбонатных элювиальных грунтах

Согласно В.Д. Ломтадзе [93] механическая суффозия может развиваться, если будут соблюдены три условия: 1) порода, через которую осуществляется фильтрация воды, должна обладать определенной неоднородностью; 2) скорость фильтрации воды должна превышать определенную критическую величину; 3) должна существовать область разгрузки этой породы от мелких частиц.

Первое условие определяется как литологическим составом покрывающих пород, так и их структурно-текстурными особенностями. На исследуемой территории в качестве таких пород выступают преимущественно элювиальные пески, полностью утратившие признаки сцементированной скальной породы, а также карбонатно-глинистая мука, характеризующаяся рыхлым сложением, в которой могут присутствовать древесно-щебнистые включения исходных карбонатных пород.

В п.5.2 и п.5.3 было приведено описание как выявленных разновидностей терригенных и карбонатных элювиальных грунтов, так и количественные характеристики их степеней неоднородности. Было показано, что для большей части территории гранулометрический состав элювиальных грунтов является благоприятным для развития суффозионного процесса.

Второе условие характеризует движущую силу этого процесса: частицы заполнителя могут начать перемещение между частицами скелета суффозионного грунта только тогда, когда скорость фильтрации через него воды достигнет некоторой величины [24].

Третье условие требует существования возможности транспортировки частиц заполнителя в трещины, которые сообщаются с полостью, способной принять достаточный объем перемещенных частиц. В п. 5.4 было показано, что на большей части исследуемой территории подстилающий элювиальную толщу скальный массив разбит системами как тектонических, так и гипергенных трещин.

Несмотря на наличие большого числа разработанных методик определения суффозионной устойчивости, не существует какого-либо универсального подхода, подходящим для всех без исключения литотипам пород и учитывающим все многообразие первостепенных и второстепенных факторов развития суффозии.

Различными исследователями предпринимались небезуспешные попытки моделирования суффозионного процесса [150, 151, 167, 184, 210, 211]. Разработано большое количество устройств и установок, предназначенных для исследования как несвязных, так и связных грунтов.

Анализ конструкций существующих установок для моделирования суффозионного процесса показал, что наиболее серьезными проблемами являются следующие:

- 1) воспроизводимость эксперимента при проведении серии экспериментов с одними и теми же исходными параметрами модельной грунтовой массы;
- 2) необходимость учета масштабного эффекта при проведении моделирования на установках небольшого размера;
- 3) затухание процесса суффозии вследствие кольтматации трещин перемещаемым материалом.

подавляющее большинство экспериментальных установок предназначено для исследования суффозии несвязных грунтов, преимущественно песчаных, поэтому вышеобозначенные проблемы не имеют столь существенного значения. Однако, когда в качестве модельного грунта используются грунты, обладающих связностью, особенно с присутствием крупнообломочных включений, необходимость их решения становится очевидной.

А.Н. Гараевой, А.И. Латыповым и О.А.Софинской было сконструировано устройство (патент № 2022110200 от 15.04.2022 «Устройство для определения суффозионной устойчивости и деформационных свойств грунтов и способ его использования») [124], показанное на Рисунке 5.16.

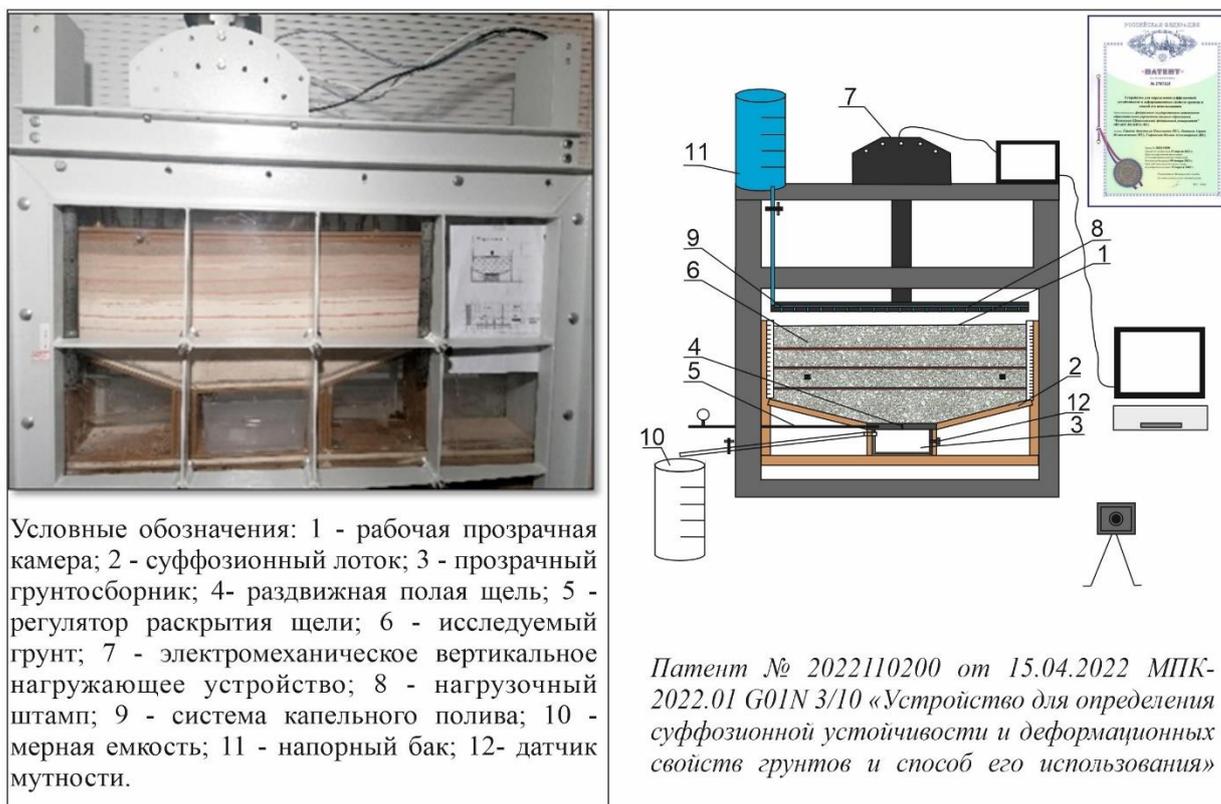


Рисунок 5.16. Схема установки для определения суффозионной устойчивости грунтов

Основными преимуществами разработанной установки по сравнению с аналогами являются следующие.

1. Использование экспериментального лотка больших размеров ($1 \times 1 \times 0,25$ м) позволяет создавать более репрезентативные условия для изучения процесса суффозии в сравнении с типовыми лабораторными установками.

2. Наличие раздвижной полой щели в нижней части лотка дает возможность плавно изменять ширину ее раскрытия в ходе эксперимента без остановки процесса фильтрации. Это обеспечивает более реалистичное моделирование динамики изменения трещиноватости.

3. Система управления вертикальной сжимающей нагрузкой и измерения деформаций позволяет оценивать влияние природного напряженного состояния и прогнозного нагружения на протекание суффозионных процессов.

4. Прозрачные стенки камеры обеспечивают визуальное наблюдение и контроль за характером развития суффозии.

5. Использование проточного датчика мутности в автоматическом режиме

позволяет фиксировать моменты начала, остановки и возобновления суффозионного выноса грунта, связанные с процессами кольтматации и изменением ширины раскрытия щели.

Последовательность эксперимента заключается в следующем.

1. Подготовка грунта:

- укладка грунта в лоток слоями с легким уплотнением;
- уплотнение грунта вертикальным штампом нагрузкой, соответствующей величине природного давления

$$\sigma = \gamma \times h, \quad (5.10)$$

где γ - удельный вес грунта кН/м³, h – глубина залегания слоя от поверхности, м.

2. Водонасыщение образца:

- увлажнение грунта с помощью системы капельного полива, встроенной в вертикальный штамп;
- создание требуемого градиента напора.

3. Организация фильтрационного потока:

- пропуск воды через образец грунта с капельным поливом на поверхности штампа;
- регулировка градиента напора для обеспечения начала движения частиц грунта.

4. Моделирование суффозии:

- сток профильтрованной воды в раздвижную полую щель;
- плавное увеличение раскрытия щели до появления устойчивого суффозионного выноса частиц;
- отслеживание количества вынесенных частиц в режиме реального времени с помощью проточного датчика мутности.

5. Заключительный этап:

- отбор образцов грунта из лотка для проведения лабораторных исследований.

Сконструированное устройство благодаря своим размерам позволяет работать с природными грунтами, без необходимости введения дополнительных коэффициентов и условий учета «масштабного» эффекта.

Благодаря возможности плавного изменения ширины раскрытия раздвижной щели в процессе эксперимента решаются сразу две задачи. Во-первых, пропадает необходимость проведения серии экспериментов с одним и тем же грунтом, в которых изменяемым параметром является ширина моделируемой трещины. Воспроизводимость структурно-текстурных признаков при укладке в лоток является трудновыполнимой задачей, особенно для неоднородных грунтов. Во-вторых, имеется возможность продолжения эксперимента после кольматации щели путем дальнейшего раскрытия щели до возобновления суффозионного процесса.

Таким образом, в процессе эксперимента в сконструированном устройстве инструментально фиксируются две величины:

- начальная ширины раскрытия трещины t_0 , соответствующей активизации суффозионного выноса самых мелких частиц
- критическая ширина раскрытия t_{cr} , при достижении которой процесс суффозии приобретает незатухающий характер.

Рассматривая вопрос однородности грунта необходимо отметить, что важное значение имеет вопрос изменения гранулометрического состава в процессе фильтрации и суффозионного выноса частиц. В песках этот вопрос изучен в работе [166-168]. На рисунке 5.17 показана схема условного зонирования толщи водонасыщенного песка, расположенной над моделируемой трещиной.

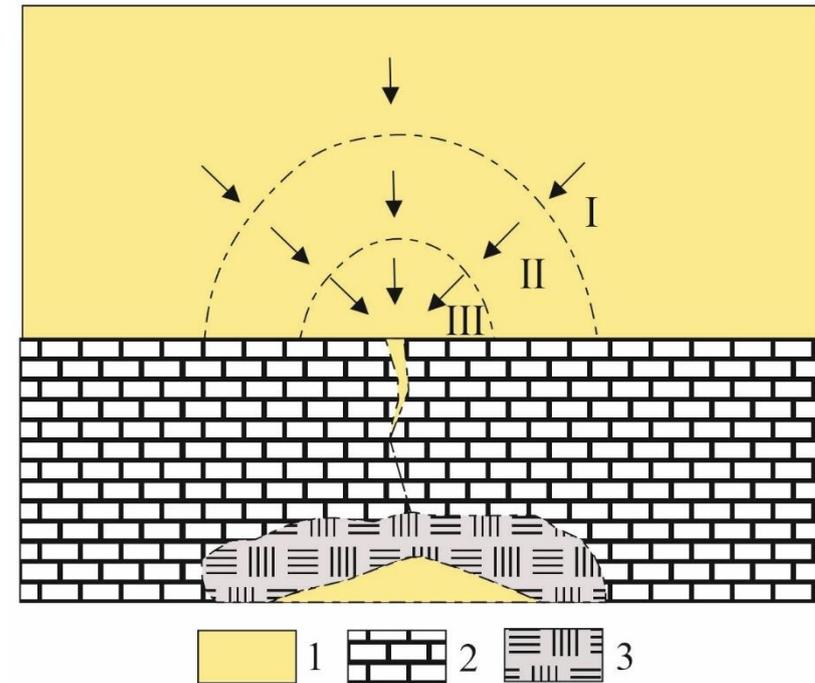


Рисунок 5.17. Схема условного зонирования водонасыщенной толщи, испытавших изменение гранулометрического состава под влиянием карстово-суффозионного процесса (В.П. Хоменко, 1976)

1 – дисперсный грунт; 2 – трещиноватый скальный массив; 3 – область выноса

В.П. Хоменко выделяет следующие зоны:

1 - зона, в которой суффозионный процесс практически не развит и гранулометрический состав грунта соответствует исходному;

2 - зона, в которой значительная часть заполнителя была удалена фильтрационным потоком и грунт стал более однородным;

3 - зона, в которой гранулометрический состав грунтов радикально изменен суффозией, заполнитель полностью удален.

В рамках диссертационного исследования были проведены аналогичные по схеме проведения испытания с карбонатной мукой различной степени неоднородности гранулометрического состава. Результаты проиллюстрированы на рисунке 5.18.

Как видно, для карбонатной муки характерны аналогичные пескам процессы – степень неоднородности гранулометрического состава изменяется по мере приближения к полости-приемнику. По мере протекания суффозионного

процесса, зона грунта над щелью приобретает более однородный характер, в основном за счет удаления глинистых и пылеватых частиц.

Для установления взаимосвязи между коэффициентом неоднородности и параметрам трещиноватости были проведены 15 экспериментов с карбонатной мукой различного гранулометрического состава. Оба этих фактора используются при оценке суффозионной опасности, поэтому точное определение их количественных значений имеет важное значение.

В таблице 5.6 приведены полученные экспериментальные данные. Здесь ρ – плотность грунта, n – пористость, γ – удельный вес грунта, K_f – измеренный коэффициент фильтрации, t_0 – начальная ширина щели, t_{cr} – критическая ширина щели.

Таблица 5.6 – Результаты экспериментального исследования суффозионности карбонатной муки (Зона А)

№ опыта	C_u	ρ , г/см ³	n , %	γ , кН/м ³	K_f , м/сут	t_0 , мм	t_{cr} , мм
1	1.0÷2.0	1,61	42	15,6	0,2	0,1	0,4
2	2.0÷4.0	1,59	39	15,7	0,2	0,1	0,4
3	4.0÷6.0	1,67	38	15,7	0,2	0,2	0,4
4	6.0÷8.0	1,71	36	16,6	0,2	0,2	0,4
5	8.0÷10.0	1,71	35	16,4	0,5	0,4	1,0
6	10.0÷12.0	1,70	35	16,6	0,5	0,5	1,1
7	12.0÷14.0	1,72	34	16,7	0,5	0,5	1,2
8	14.0÷16.0	1,79	34	17,6	0,5	0,6	1,4
9	16.0÷18.0	1,81	33	17,6	0,7	0,7	1,3
10	18.0÷20.0	1,80	32	17,4	0,7	0,9	1,4
11	20.0÷22.0	1,80	32	17,6	0,7	0,9	2,0
12	22.0÷24.0	1,81	31	17,6	1,0	1,1	2,1
13	24.0÷26.0	1,84	31	17,6	1,0	1,2	2,0
14	26.0÷28.0	1,88	31	18,6	1,0	1,5	2,2
15	28.0÷30.0	1,91	31	18,8	1,0	1,5	2,4



Рисунок 5.18. Схема условного зонирования толщи карбонатной муки в зависимости от изменения степени неоднородности гранулометрического состава C_u

Анализируемыми величинами являлись начальная ширина раскрытия трещины t_0 , соответствующая активизации суффозионного выноса самых мелких частиц, и критическая ширина раскрытия t_{cr} , при достижении которой процесс суффозии приобретает незатухающий характер.

На рисунке 5.19 приведены графики зависимости этих величин от коэффициента неоднородности гранулометрического состава.

На основании выполненных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что выделяются четыре зоны гранулометрического состава, в пределах которых процесс суффозии протекает по-разному.

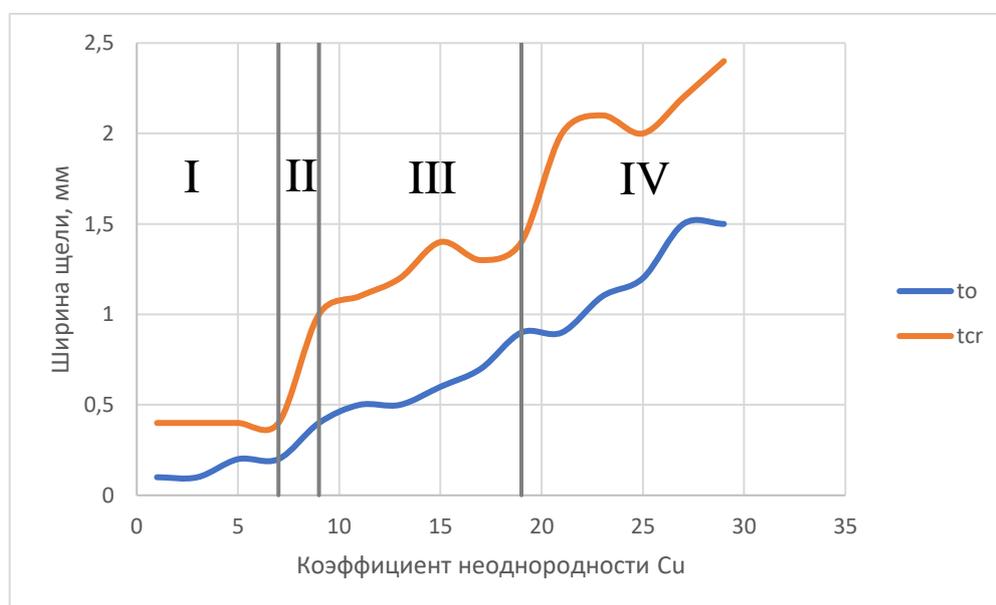


Рисунок 5.19. Графики изменения начальной t_0 и критической t_{cr} ширины раскрытия трещины в зависимости от коэффициента неоднородности грунта C_u

Для всех грунтов с коэффициентом неоднородности C_u менее 7 процесс протекает практически одинаково – суффозионный вынос частиц начинается при ширине раскрытия трещины 0,2 мм и приобретает устойчивый характер при ширине раскрытия трещины 0,4 мм (зона I на рисунке 5.19).

Интервал $C_u=7-9$ можно считать переходным между суффозионно устойчивыми и суффозионно неустойчивыми грунтами (зона II). Вероятность суффозионного выноса резко повышается. Причем как видно на рисунке 5.19, наиболее существенным образом это сказывается на величине t_{cr} , которая меняется с 0,4 мм до 1,0 мм.

Далее вплоть до значений $C_u=18-19$ значения начальной и критической ширины меняются на 0,3 мм каждое до значений 0,7 мм и 1,3 мм соответственно. Эту зону (III) можно считать зоной суффозионной неустойчивости. Т.е. территории, сложенные грунтами с коэффициентами неоднородности от 9 до 19 при наличии необходимых условий трещиноватости и других, рассматриваемых ниже, могут считаться суффозионно опасными.

Для грунтов с $C_u>19$ изменение критической ширины раскрытия трещины t_{cr} становится резким. Для таких грунтов, по всей видимости, суффозионность должна оцениваться по отличным от предлагаемых в существующих методиках формулам.

5.6. Интегральная оценка суффозионной опасности

Развитие любой территории невозможно без оценки потенциальной активизации опасных природных процессов. Несмотря на наличие ряда исследований, отраженных в работах А.В. Ступишина (1954), М.С. Кавеева (1954), Б.В. Васильева (1966), В.И. Можжерина и А.Н. Шарифуллина (1988), А.В. Аникеева и С.А. Чумаченко (2011), в настоящий момент для территории Восточного Закамья отсутствует какое-либо системное районирование территории по степени карстово-суффозионной опасности.

Анализ существующих методов картографирования геологических опасностей показал, что наиболее востребованным в методическом аспекте в настоящее время является подход построения карт восприимчивости (предрасположенности) территории к развитию экзогенных геологических процессов [92].

Методология составления данных карт включает следующую последовательность действий. На первоначальном этапе выполняется подготовка тематических пространственных данных, включающих: инвентаризационную карту проявлений экзогенных геологических процессов, карты литологического состава, геоморфологии, гидрогеологии, а также цифровую модель рельефа, позволяющую установить абсолютные отметки, уклоны и экспозиции склонов и другие факторы, определяющие возникновение и интенсивность развития ЭГП [85, 125-127, 130].

Поскольку значимость влияния каждого фактора в общей оценке восприимчивости территории различается в зависимости от региональных геологических, морфометрических, климатических и техногенных условий, необходимо выполнять количественную оценку весовых коэффициентов факторов. Данная оценка может осуществляться с применением различных детерминированных методов, в том числе теории нечетких множеств [92, 115, 196]. В рамках представленного исследования для определения весов факторов использовался метод соотношения частотностей (frequency ratio, FR) [151].

Заключительный этап методологии предполагает интеграцию подготовленных тематических слоев данных с учетом установленных весовых коэффициентов для построения комплексной карты восприимчивости (предрасположенности) территории к развитию экзогенных геологических процессов.

А. Подготовка информационных слоев

На первом этапе определялись факторы, имеющие существенное значение при развитии процессов суффозии. На основании полевых маршрутных наблюдений, анализа существующей информации о проявлениях карстово-суффозионных процессов, были выбраны следующие факторы: уклон поверхности, тип грунтовых толщ, глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта, коэффициент неоднородности песков, степень суффозионности карбонатной муки, степень трещиноватости карбонатного массива. Каждый фактор включал определенное количество классов. Всего было выбрано 6 факторов (слоев), внутри которых выделено в сумме 25 классов.

Следующим шагом после выбора факторов была подготовка следующих тематических карт [92], содержащих сведения о распространении, интенсивности, мощности или геометрических и других параметрах различных факторов, обуславливающих развитие карстово-суффозионных процессов.

Уклон поверхности. Такие факторы, как скорость поверхностного стока, градиент напора верховодки напрямую связаны с градиентом уклона поверхности территории. Карта уклонов была построена с помощью ArcGIS Desktop и приведена на рисунке 5.20. Исходными данными послужила цифровая модель рельефа (ЦМР) для территории юго-восточной части Республики Татарстан.

Литологический состав поверхностных отложений. Учет фактора осуществлялся на основании карты четвертичных отложений (рисунок 2.7). Градация осуществлялась на основании принадлежности участка к аллювиальным, аллювиально-делювиальным, пролювиально-делювиальным, элювиально-делювиальным и элювиальным отложениям.

Гидрогеологические условия. В качестве численного фактора был принят градиент напора, вычисляемый как разница между значениями глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта (рисунок 5.21) и уровнем постоянного водоносного горизонта. Для этой цели была оцифрована и уточнена гидрогеологическая карта территории, показанная на рисунке 2.8.

Неоднородность песчаников бесструктурной зоны (рисунок 5.3). Фактор неоднородности гранулометрического состава песчаных грунтов является определяющим при определении суффозионной неустойчивости грунтов. В качестве критерия был выбран коэффициент неоднородности, определенный на основании лабораторных исследований песчаников на различных участках территории.

Неоднородность бесструктурного карбонатного элювия. В п. 5.2 изложены результаты экспериментального определения неоднородности карбонатной муки, а также расчеты суффозионности грунтов исследуемой территории. В качестве критерия дифференцирования территории была выбрана степень неоднородности гранулометрического состава. Результатом явилось создание карты суффозионности грунтов бесструктурного карбонатного элювия (рисунок 5.2).

Степень трещиноватости карбонатных массивов структурного элювия.

Исследования трещиноватости были изложены в п.5.4. Разделение территории на области трещиноватости легло в основу карты районирования Восточного Закамья, приведенной на рисунке 5.3.



Рисунок 5.20. Карта уклонов поверхности
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

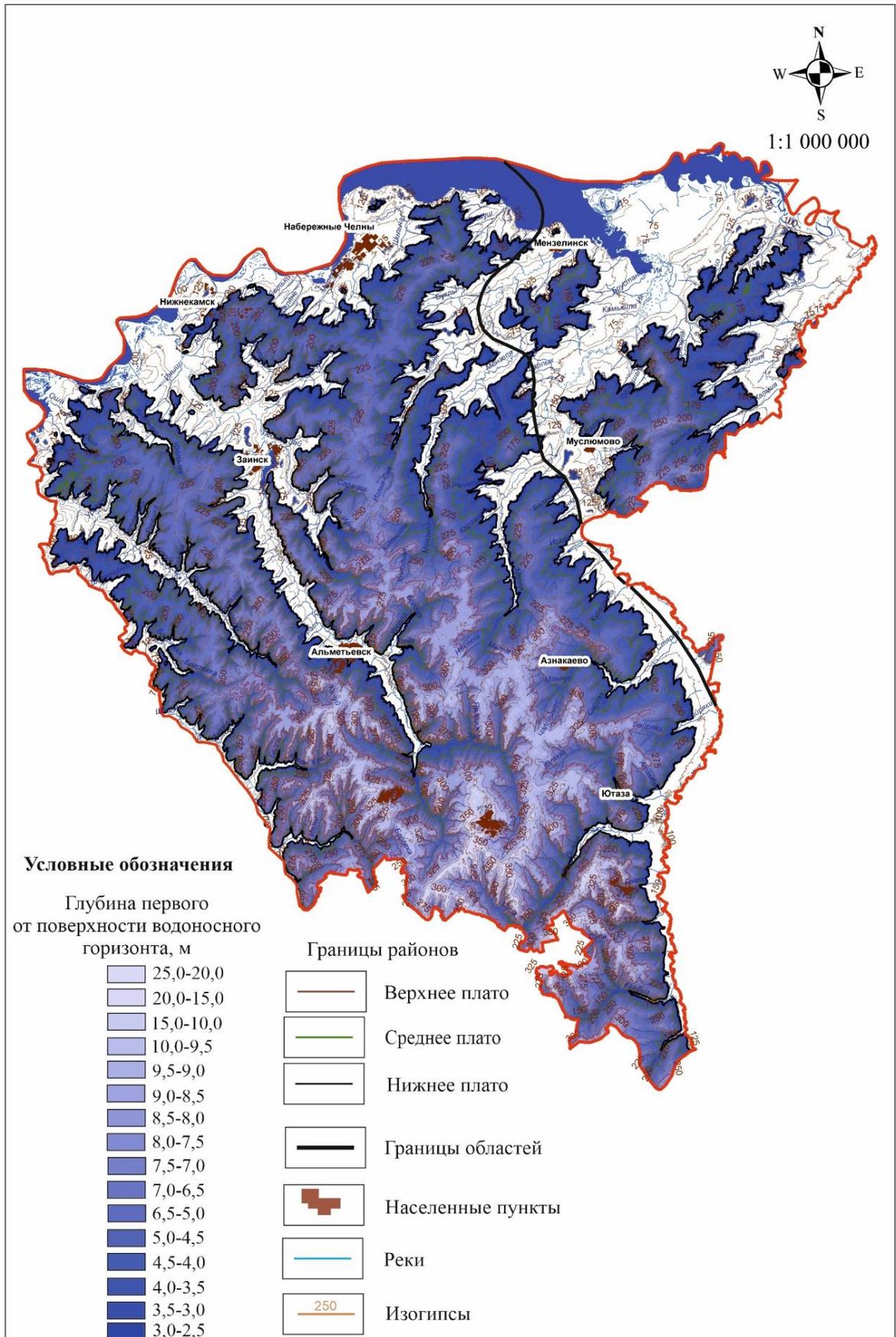


Рисунок 5.21. Карта уровней первого от поверхности водоносного горизонта
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

Б. Определение веса факторов

Определение весовых коэффициентов факторов, влияющих на развитие экзогенных геологических процессов (ЭГП), было реализовано с применением метода соотношения частотностей (Frequency Ratio, FR). Данный подход позволяет количественно оценить реальную площадную пораженность территории ЭГП на основе ГИС-технологий [92].

Расчет весов факторов методом FR осуществлялся в следующей последовательности:

1. Определение площадей классификационных градаций каждого фактора и их относительных долей от общей площади изучаемой территории.
2. Вычисление площадей проявления ЭГП в пределах каждого класса фактора (в абсолютных и относительных величинах).
3. Расчет соотношения площади проявления ЭГП к площади класса фактора - вес FR.

Полученные результаты приведены в Таблице 5.7.

Хорошо видно, что максимальные значения весов FR имеют диапазон степени неоднородности гранулометрического состава песков $C_u=5,5-7,0$ (FR=2,03), два диапазона степени неоднородности гранулометрического состава карбонатной муки $C_u=9,0-19,0$ (FR=1,99) и $C_u>19,0$ (FR=3,21), два диапазона степени трещиноватости массива: среднетрещиноватые (FR=2,03) и сильнотрещиноватые (FR=4,98). Именно эти факторы в указанных диапазонах можно считать определяющими опасность развития суффозионных процессов.

Таблица 5.7 – Результаты определения веса факторов развития суффозионной опасности грунтов

Слои данных	Классы	% класса	% суффозионных участков	Вес по FR
Уклон поверхности, град	<10	39,8	44,1	1,11
	10-15	28,9	24,6	0,85
	15-20	21,4	20,2	0,94
	20-25	7,9	8,7	1,10
	>25	2,0	2,4	1,20
Стратиграфо- генетические комплексы	Элювиальные (e)	34,2	56,4	1,65
	Элювиально-делювиальные (ed)	8,9	9,4	1,06
	Пролувиально-делювиальные (pd)	16,5	11,9	0,72
	Аллювиально-делювиальные (ad)	18,3	10,0	0,55
	Аллювиальные (a)	22,1	12,3	0,56
Степень неоднородности грансостава песков	<3,5	46,7	13,0	0,28
	3,5÷5,5	26,5	32,5	1,23
	5,5÷7,0	26,8	54,5	2,03
Степень неоднородности грансостава карбонатной муки	<7,0	56,3	12,2	0,22
	7,0÷9,0	9,9	11,1	1,12
	9,0÷19,0	26,0	51,7	1,99
	>19,0	7,8	25,0	3,21
Степень трещиноватости массива	Очень слаботрещиноватые	42,1	9,2	0,22
	Слаботрещиноватые	33,0	16,4	0,50
	Среднетрещиноватые	16,8	34,1	2,03
	Сильнотрещиноватые	8,1	40,3	4,98
Гидравлический градиент	<3	9,9	5,5	0,56
	3÷5	13,5	11,0	0,81
	5÷10	46,8	46,5	0,99
	>10	29,8	37,0	1,24

В. Построение и анализ карт восприимчивости

Заключительным этапом методики являлась интеграция подготовленных тематических растровых слоев данных с учетом установленных весовых коэффициентов факторов (FR). Для этого растровые карты факторов, каждой ячейке которых были присвоены соответствующие значения весов классификационных градаций, были перемножены на эти веса и просуммированы. В результате была получена итоговая растровая карта, в ячейках которой содержатся значения суммарного индекса восприимчивости территории к развитию экзогенных геологических процессов.

Таким образом, в результате интеграции тематических растровых слоев данных с учетом установленных весовых коэффициентов факторов была построена единая интегральная карта восприимчивости территории к развитию карстово-суффозионных процессов (рисунок).

Для визуализации пространственного распределения восприимчивости проведена классификация полученного растра на 5 уровней опасности (рисунок 5.22).

Г. Валидация карт

Для оценки качества и достоверности полученных комплексных карт восприимчивости к карстово-суффозионным процессам, основанных на применении метода соотношения частотностей (FR), был использован анализ ROC-кривых, предложенный A. Linden (2006).

ROC-кривая (Receiver Operating Characteristic) позволяет определить точность и качество классификации [92], показывая соотношение между долей правильных положительных классификаций (чувствительность) и долей ложных положительных классификаций.

Количественную оценку качества классификации дает показатель AUC (Area Under Curve) - площадь под ROC-кривой. Значение AUC лежит в диапазоне от 0 до 1, при этом чем выше показатель, тем более качественным является классификатор. Значение $AUC = 0,5$ соответствует случайному гаданию, то есть непригодности выбранного метода [92].

Для анализа ROC-кривых и расчета показателя AUC использовался статистический пакет SPSS Statistics. Полученное значение AUC для карт, построенных методом FR, составило 0,820. Это свидетельствует о высоком качестве и достоверности прогнозных карт восприимчивости территории к развитию суффозионных процессов, полученных с использованием данного метода.

Выполненное исследование позволило установить, что около 10% территории практически неопасно в плане возможности развития карстово-суффозионных процессов, 15% территории является малоопасной, 19% территории составляет среднюю опасность, 38% и 18 % территории являются территориями с опасным и весьма опасным уровнем опасности развития карстово-суффозионных процессов соответственно.

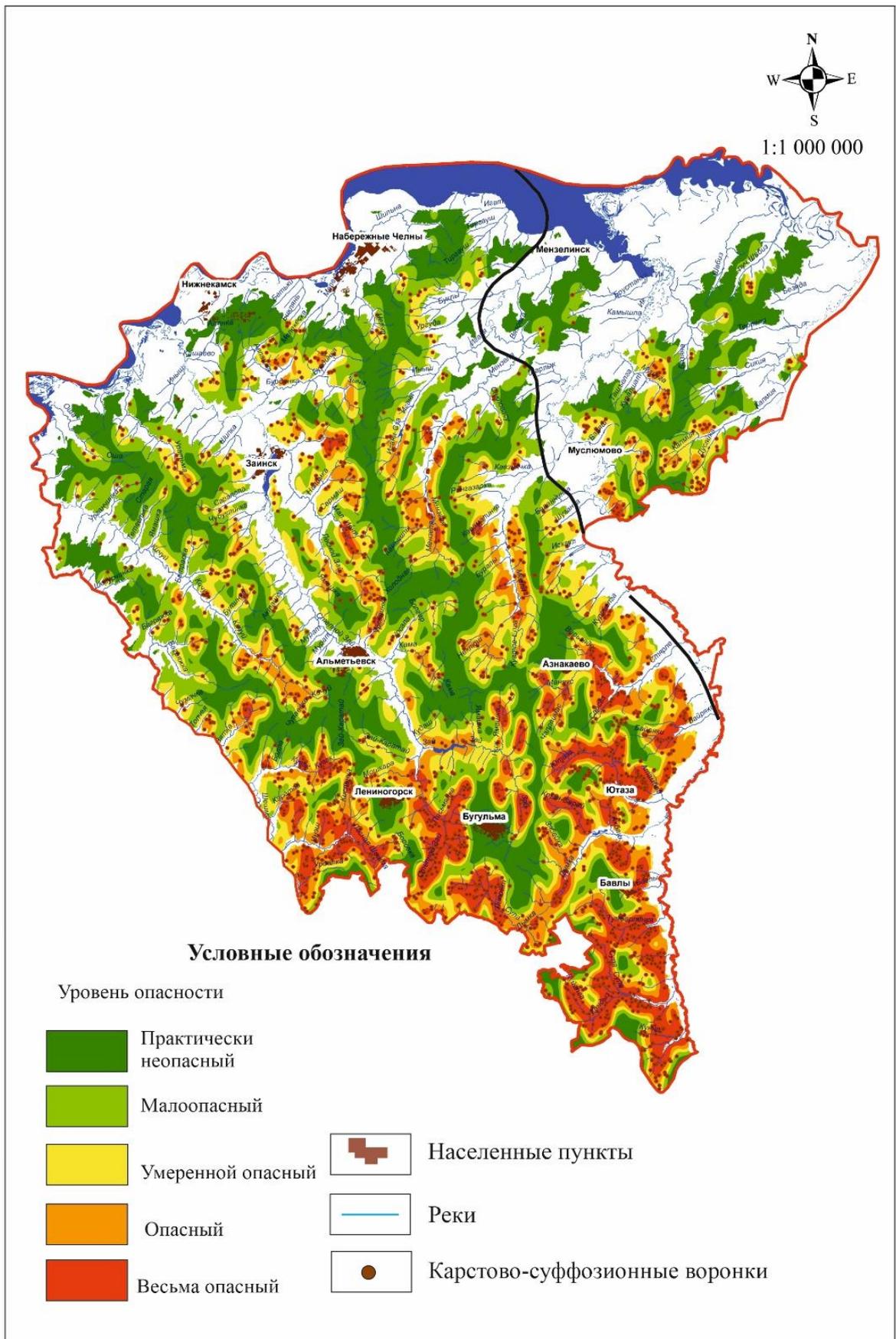


Рисунок 5.22. Интегральная карта суффозионной опасности
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

Наибольшая опасность развития карстово-суффозионных процессов характерна для территорий верхнего и среднего плато, а также их приводораздельных частей. На верхнем плато к наиболее существенным факторам, предопределяющим риск, относятся наличие элювия по карбонатным породам, трещиноватость подстилающих карбонатных массивов и неоднородность бесструктурного карбонатного элювия. На среднем плато опасные и весьма опасные участки выделены преимущественно у истоков крупных и средних рек. Здесь преобладающими факторами являются высокая трещиноватость массивов, нарушенных вследствие тектонических причин, а также гидрогеологический фактор, связанный с большой водосборной площадью бассейнов рек в этих частях рельефа [82]. На склоновых частях приводораздельных участков решающими факторами развития карстово-суффозионных процессов являются высокие уклоны рельефа и высокие уровни и градиенты грунтовых вод. Дополнительным усугубляющим фактором является литологический состав пород, представленных в основном элювиально-делювиальными слабоуплотненными грунтами с высокими фильтрационными характеристиками.

Выполненное районирование хорошо согласуется с данными, полученными при маршрутном обследовании территории. Большая часть воронок зафиксирована на опасных и весьма опасных участках (4 и 5 категории опасности). Здесь зафиксировано 3048 воронок, что составляет 81% от общего числа. Остальные карстово-суффозионные формы отмечены на умеренно опасных территориях (581 шт. или 16%). На территориях, отнесенных к малоопасным и практически неопасным зафиксировано только 109 воронок или 3% от общего количества.

Выполненное районирование по уровню восприимчивости территорий к развитию карстово-суффозионных процессов позволило дополнить инженерно-геологическое районирование еще одним таксоном – участком. Каждому уровню опасности на карте был присвоен соответствующий индекс, например I-Б-3¹, II-В-2³ и т.п. (рисунок 5.23).

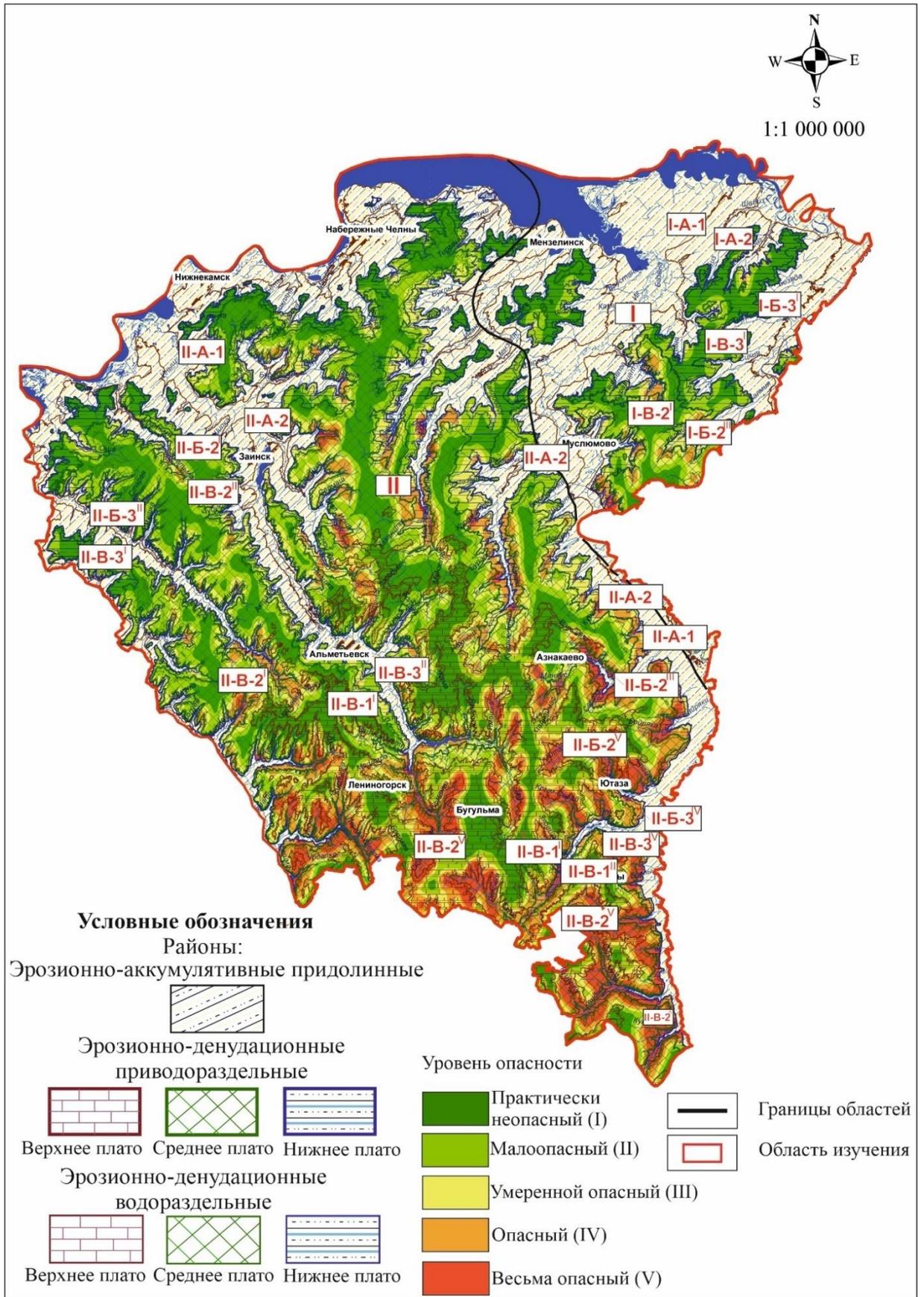


Рисунок 5.23. Карта инженерно-геологического районирования с выделенными участками уровней опасности развития суффозионных процессов
 Авторы: А.И. Латыпов, А.Н. Гараева

Выводы по пятой главе

1. На территории Восточного Закамья широко распространены карстово-суффозионные процессы, исследованные в большом количестве работ. При этом какие-либо системные исследования, включающие карты выявленных форм карстово-суффозионных процессов, карстово-суффозионной опасности и т.п., на настоящий момент отсутствуют.

2. На большей части территории активно развиваются процессы суффозии, напрямую связанные с наличием элювиальных грунтов.

3. Расчет суффозионности грунтов бесструктурного элювия показал, что на большей части территории грунты относятся к суффозионно неустойчивым.

4. На значительной части территории грунты бесструктурного элювия подстилаются трещиноватыми скальными породами структурного элювия, являющимися каналами суффозионного выноса грунтов.

3. Оценка существующей и ожидаемой суффозионной опасности может быть эффективно выполнена на основании количественного прогнозирования с использованием метода соотношения частотностей (frequency ratio), основанном на определении и сочетании весов факторов, определяющих развитие суффозионных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлены основные закономерности протекания гипергенных процессов преобразования осадочных пород на территории Восточного Закамья. Формирование различных видов элювиальных грунтов в первую очередь обусловлено пространственным распространением преобладающих литотипов осадочных пород. Установлено, что в центральной части территории на площадке верхнего плато распространен элювий по карбонатным породам преимущественно уржумского яруса, на площадке среднего плато – карбонатно-терригенный тип элювия преимущественно казанского и уржумского (на высоких частях) ярусов, на площадке нижнего плато – терригенный элювий казанского яруса.

Во вторую очередь это обусловлено принадлежностью участков к эрозионно-денудационным водораздельным и приводораздельным структурам. В процессе исследования было выполнено инженерно-геологическое районирование территории, основанное на выделении двух областей: Камско-Бельской низменности и Бугульмино-Белебеевской возвышенности, трех районов: эрозионно-аккумулятивных придолинных, эрозионно-денудационных приводораздельных и эрозионно-денудационных водораздельных, в дальнейшем разделенных на подрайоны верхнего, среднего и нижнего плато, денудационных склонов, поверхностей и примыкающих к ним склонов речных террас. Установлено, что наибольшие мощности терригенные элювиальные грунты имеют на водораздельных участках нижнего плато, а карбонатные элювиальные грунты – на водораздельных участках верхнего плато [82].

Основным движущим процессом гипергенного преобразования песчаников является выщелачивание кальцитового цемента, в результате чего первичные цементационные типы структур сменяются более слабыми – коагуляционными и механическими. Показано, что инженерно-геологическая характеристика массивов элювиальных песчаных грунтов может быть выполнена только с выделением предлагаемых зон их гипергенных

преобразований с контрастными отличиями классификационной принадлежности, свойств, минерального и химического состава. Для выделения предложены четыре зоны: элювиальных песков, элювированных песчаников, химической дезинтеграции, сохранного массива.

Наиболее сложной и неблагоприятной в инженерно-геологическом плане является зона элювированных песчаников, мощность которой может достигать 20 м. Учитывая высокую неоднородность прочностных и деформационных свойств грунтов этой зоны, часто несистемную и потому труднопрогнозируемую, трудность отбора образцов ненарушенного сложения, предложена идентификация элювированных песчаников с помощью диаграммы рассеяния. Построены региональные таблицы определения механических характеристик в зависимости от параметров зондирования.

На территории Восточного Закамья элювий по глинистым породам развивается преимущественно на поверхности нижнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности и Камско-Бельской низменности. Гипергенные преобразования глинистых пород уржумского яруса обусловлены как физическим выветриванием под действием отрицательных температур в период валдайского оледенения, так и химическими процессами выщелачивания инфильтрационными водами доломита, кальцита и гипсов из дезинтегрированных глин и последующей реакцией гидролиза полевых шпатов.

В профиле выветривания глинистых массивов предложено выделение трех зон: элювиальных глин, элювированных глин и сохранного массива. Предложены диагностические критерии выделения зон в соответствии с их минеральным составом и пористостью. Построены региональные таблицы механических характеристик для элювированных глин и глин сохранного массива. Рассчитаны наиболее характерные диапазоны удельного сопротивления грунта внедрению конуса и фрикционного соотношения при статическом зондировании для всех зон для их идентификации с помощью диаграммы рассеяния.

Элювиальные карбонатные грунты распространены преимущественно в пределах верхнего плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности. В профиле выветривания карбонатных пород выделены горизонты структурного и бесструктурного элювия, различающихся различной степенью преобразованности материнских пород, механическим и минеральным составом, а также структурно-текстурными признаками. Помимо зоны сохранный массива предложены зоны сильного, средней степени и слабого изменения [27,83, 200].

Несмотря на естественный разброс признаков и свойств конкретных зон выветривания их особенности четко проявляются при рассмотрении минерального состава и истории возникновения пороодообразующих минералов в элювии. Из материалов исследования вытекает: а) для песчаников изменения минерального состава связано с удалением кальцита из порового пространства и цементацией минеральных частиц гидроксидами железа; б) в глинах процесс дезинтеграции сопровождается выщелачиванием кальцита, доломита и гипса с последующей реакцией гидролиза полевых шпатов, и, как следствие, уменьшением доли микроклина и появлением каолинита; в) изменение минерального состава в карбонатных грунтах наблюдается в виде растворения кальцита и доломита и постепенного накопления глинистых минералов [28].

Масштабные преобразования пород изменяют все компоненты инженерно-геологических условий соответствующих территорий, в том числе способствуют активизации процессов. На территории Восточного Закамья к таким процессам относятся карст и суффозия, непосредственным образом связанных с наличием элювиальных грунтов.

Для исследуемой территории выполнена оценка существующей и ожидаемой суффозионной опасности в карбонатных и терригенных элювиальных грунтах на основании количественного прогнозирования, основанного на сочетании для каждого участка неоднородности гранулометрического состава верхнего горизонта бесструктурного элювия и степени трещиноватости подстилающих пород зоны структурного элювия [26]. В результате этого была построена карта инженерно-геологического

районирования территории Восточного Закамья с выделенными участками уровней опасности развития суффозионных процессов, которая может быть использована для планирования инженерных изысканий и при градостроительном проектировании.

Выполненные в диссертационном исследовании результаты внедрены в практику деятельности Управления по реализации проектов строительства ПАО «ТАТНЕФТЬ» им. В.Д. Шашина. Акт о внедрении приведен в Приложении.

Закономерности, выявленные для территории Восточного Закамья, могут быть экстраполированы на аналогичные районы. В частности, выявленные специфические особенности терригенных и карбонатных элювиальных толщ, диагностические критерии выделения зон выветривания, их идентификация по данным статического зондирования, региональные значения прочностных и деформационных свойств могут быть использованы в качестве справочного и методического материала при проведении инженерно-геологических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р. Ф. Карст Бугульмино-Белебеевской возвышенности и условия гидротехнического строительства / Р. Ф. Абдрахманов // Вопросы геологии и геоморфологии Южного Урала и Предуралья. – Уфа : БНЦ УрО АН СССР, 1981. – С. 81–85.
2. Аверьянов В. И. Казанское Поволжье и Прикамье / В. И. Аверьянов, Е. А. Блудорова, Н. Л. Фомичева, П. Г. Ясонов // Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области. – Москва : Наука, 1981. – С. 95–118.
3. Александров С.А. Опыт изучения элювиальных глинистых грунтов уральского региона / С.А. Александров, О.М. Гуман // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. – Москва: Геомаркетинг, 2019. – С. 78-82.
4. Аникеев А. В. Суффозия. Механизм и кинематика свободной суффозии / А. В. Аникеев // Геоэкология. – 2006. – № 6. – С. 544–553.
5. Аникеев А. В. Карстово-суффозионные провалы Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А. В. Аникеев, С. А. Чумаченко // Геоморфология. – 2011. – № 3. – С. 32–41.
6. Аникеев А. В. Определение напряженного состояния грунтовой толщи над карстовой полостью / А. В. Аникеев, Э. В. Калинин, С. И. Тараканов // Инженерная геология. – 1991. – № 5. – С. 64–70.
7. Аникеев А. В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска / А. В. Аникеев. – Москва: РУДН, 2017. – 328 с.
8. Анисимов В. В. Влияние механической суффозии на дополнительные осадки оснований фундаментов / В. В. Анисимов, З. Г. Тер-Мартиросян // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2009. – № 4. – С. 4–8.

9. Арешидзе Г. М. Изменение состава и физико-механических свойств горных пород при выветривании / Г. М. Арешидзе, Э. А. Джавахишвили // Тезисы докладов III регионального совещания по инженерной геологии. – Ленинград, 1966. – С. 296–301.
10. Барановский А. Г. Отечественный и мировой опыт изучения скальных и дисперсных элювиальных глинистых грунтов для инженерно-геологических целей / А. Г. Барановский // Инженерные изыскания. – 2015. – № 12. – С. 34–41.
11. Барановский А. Г. Пространственная изменчивость свойств элювиальных глинистых грунтов / А. Г. Барановский // Инженерные изыскания в строительстве: материалы одиннадцатой научно-практической конференции молодых специалистов. – Москва : АО «ПНИИИС», 2015. – С. 3-8.
12. Бондарик Г. К. Инженерная геодинамика / Г. К. Бондарик, В. В. Пендин, Л. А. Ярг. – Москва : КДУ, 2007. – 440 с.
13. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г. К. Бондарик. – Москва : Недра, 1981. – 256 с.
14. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г. К. Бондарик. – Москва : Недра, 1971. – 272 с.
15. Борейко Л. Г. Выделение в разрезе инженерно-геологических элементов на основе анализа изменчивости инженерно-геологических свойств исследуемых пород с помощью ЭВМ / Л. Г. Борейко // Инженерная геология. – 1982. – № 3. – С. 82–91.
16. Бутаков Г. П. Неоплейстоцен и голоцен / Г. П. Бутаков // Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника / под редакцией Б. В. Бурова. – Москва : ГЕОС, 2003. – С. 221.
17. Валиуллина Г.Ш. Плейстоценовое перигляциальное рельефообразование на территории Закамья Республики Татарстан / Г. Ш. Валиуллина, А.Г. Илларионов // Вестник Удмуртского университета. – 2010. – Вып. 4. – С. 126-136.

18. Васильев Б. В. Карст на территории Татарской республики и его значение в сельском хозяйстве и промышленности / Б. В. Васильев // Гидрогеология и карстоведение. – Пермь : Издательство Пермского университета, 1966. – Вып. 3. – С. 97–102.
19. Вишневский П. В. Основные геологические и гидрогеологические аспекты карстовых процессов и особенности их изучения геофизическими методами в Республике Татарстан / П. В. Вишневский, Ю. Б. Антонов, Г. Е. Кузнецов, М. Я. Боровский // Гидрогеология и карстоведение. – Пермь : Издательство Пермского университета, 2000. – Вып. 13. – С. 110–116
20. Газизов М.С. Оценка устойчивости закарстованных пород в основании инженерных сооружений // Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна. – М.: Транспорт, 1968. – Вып. 8. – С. 29-44.
21. Галкин А.Н. Грунтовые толщи Беларуси / А.Н. Галкин // Литосфера. – 2016. – № 1. – С. 73-79.
22. Гараева А.Н. Инженерно-геологическая характеристика молодых кор выветривания эрозионно-денудационных останцев Бугульминского плато юго-востока Татарстана / А.Н. Гараева, А.И. Латыпов // XXVI Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – Т. 1. – С. 239-241.
23. Гараева А. Н. Инженерно-геологическая характеристика элювиальных карбонатных грунтов Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности: специальность 1.6.7 "Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение": диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь, 2023.

24. Гараева А.Н. Особенности карстования карбонатных массивов Бугульминского плато Республики Татарстан / А.Н. Гараева, А.И. Латыпов, Э.А. Королев // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: 14-я Межрегиональная научно-практическая конференция. – М.: Перо, 2022. – С. 28-33.
25. Гараева А.Н. Элювиальные отложения эрозионно-денудационных останцев Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А.Н. Гараева, А.И. Латыпов, Д.Р. Зарипова // Сборник статей всероссийской молодёжной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий». – М.: Перо, 2021. – С. 16-20.
26. Гараева А. Н. Оценка суффозионной опасности территории Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А. Н. Гараева, Д. А. Галиева // Геология в развивающемся мире : сборник научных трудов по материалам XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пермь : ПГНИУ, 2022. – С. 282-289.
27. Гараева А.Н. Особенности гипергенного преобразования карбонатно-терригенных пород Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А.Н. Гараева, А.И. Латыпов, Д.Р. Зарипова // Геологические науки – 2021: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Саратов, 2-3 декабря 2021 г.). – Саратов: Техно-Декор, 2021. – С. 49-53.
28. Гараева А.Н. Особенности континентального литогенеза карбонатных пород бугульминского плато юго-востока Татарстана / А.Н. Гараева, А.И. Латыпов, Э.А. Королев // Пустоваловские чтения 2022 : материалы традиционной конференции, посвященной 120-летию Леонида Васильевича Пустовалова. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. – С. 36-38.

29. Геология Приказанского района. Путеводитель по полигонам учебных геологических практик / под ред. А. И. Шевелева. – Казань : Новое знание, 2007. – 208 с.
30. Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника / под ред. Б. В. Бурова, Н. К. Есауловой, В. С. Губаревой. – Москва : ГЕОС, 2003. – 402 с.
31. Гидрогеология СССР. Т. 13. Поволжье и Прикамье / под ред. А. В. Сидоренко. – Москва : Недра, 1970. – 800 с.
32. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ. Куйбышевское и Саратовское водохранилища. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1978.
33. Гинзбург И.И. Древняя кора выветривания Урала. Ч. I и II // Труды института геологических наук СССР. – 1946. – №80; 1947. – №81.
34. Головкинский Н.А. О послетретичных образованиях по Волге в ее среднем течении // Изв. Казанск. ун-та. – 1865. – Т. 1. – С. 451-524.
35. Голодковская Г.А. О влиянии тектонических процессов на формирование инженерно-геологических свойств горных пород // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 17-34.
36. Голубева Л.В. Некоторые наблюдения над карстовыми воронками в заповеднике "Предуралье" // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 1951. – № 16. – С. 68-75.
37. Горецкий Г.И. Аллювий великих антропогенных прарек Русской равнины. – М.: Наука, 1964. – 415 с.
38. Горецкий Г.И. Формирование долины р. Волги в раннем и среднем антропогене. – М.: Наука, 1966. – 412 с.
39. Горькова И.М. Физико-химическая механика дисперсных грунтов как основа инженерно-геологического прогнозирования // Инженерная геология. – 1980. – №6. – С. 61-66.
40. ГОСТ 12248-2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2020.

- 41.ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартиформ, 2015.
- 42.ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2020.
- 43.ГОСТ 30416-2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М.: Стандартиформ, 2020.
- 44.ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартиформ, 2016.
- 45.ГОСТ 70259-2022. Грунты. Методы определения морозостойкости крупнообломочных грунтов. – М.: Стандартиформ, 2022.
- 46.Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд. М.: МГУ, 2005. 1024 с.
- 47.Дедков А.П. Поверхности выравнивания Среднего Поволжья и Вятско-Камского края // Поверхности выравнивания и коры выветривания. – Москва: Наука, 1976. – С. 153-155.
- 48.Дедков А.П., Мозжерин В.В. Новые данные о генезисе и возрасте нижнего плато Приволжской возвышенности // Геоморфология. – 2000. – № 1. – С. 56-61.
- 49.Дедков А.П., Мозжерин В.В. Эоплейстоцен и неоплейстоцен, нерасчлененные // Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника / под ред. Б.В. Бурова. – Москва : ГЕОС, 2003. – С. 248-253.
- 50.Дедков А. П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Поволжье / А. П. Дедков. – Казань : Издательство Казанского университета, 1970. – 255 с.
- 51.Джавахишвили Э.А. Выветривание майкопских глинистых пород как один из факторов в развитии оползней вдоль Абхазского побережья Черного моря // Труды ЛГПИИ, ГПИ. – 1967. – № 3. – С. 295-304.

52. Димухаметов Д.М., Новопоселенских Л.А., Бахарева Н.С. Суффозионные процессы на территориях городов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.
53. Дробинина Е.В., Катаев В.Н. Физические свойства песчаных и супесчаных грунтов покровной толщи в интегральной оценке суффозионной опасности территории в районах развития карбонатного карста // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 21-31.
54. Дублянский В.Н., Клименко В.И., Михайлов А.Н. Ведущие факторы развития карста и балльная оценка его интенсивности // Инженерная геология. – 1990. – № 2. – С. 52-58.
55. Дятлова В.К. и др. Эколого-гидрогеологическая съемка масштаба 1:200000 на юго-востоке Татарстана (листы N-39-X, XI, XII, XVI, XVII, XVIII). – СВГРЭ, 1998. – ФГИ РТ.
56. Елкин В.А. Оценка карстовой опасности при инженерных изысканиях: обзор российских нормативных технических документов // Инженерные изыскания. – 2018. – № 11-12. – С. 12.
57. Елкин В.А. Подходы к оценке карстовой опасности на территории республики Татарстан // Сергеевские чтения. Вып. 4 : Материалы годичной сессии РАН. – Москва : ГЕОС, 2002. – С. 118-124.
58. Жаркова Н. И. Исследование агрессивности грунтов по отношению к строительным конструкциям реконструируемых объектов нефтегазовой отрасли восточной части Республики Татарстан / Н. И. Жаркова, А. И. Латыпов, Г. А. Черныйчук // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 3. – С. 114-116.
59. Жиленков В.Н. Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. – Ленинград : ВНИИГ им. Веденеева, 1991. – 93 с.
60. Золотарев Г.С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания // Вопросы инженерно-

- геологического изучения процессов и кор выветривания. – Москва : Изд-во МГУ, 1971. – С. 4-25.
61. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
62. Илалова Р.К. Особенности химического состава и термометрия хлоритов остаточной коры выветривания Кольского массива (Северный Урал) / Р.К. Илалова, Ю.Л. Гульбин // 200 лет РМО: материалы юбилейного съезда Российского минералогического общества. – Санкт-Петербург: Горный университет, 2017. – С. 226-228.
63. Кавеев М.С. Инженерно-геологические исследования карстовых явлений в центральной части Волго-Камского края. – Казань, 1960. – Фонды ЦНИИгеолнеруд.
64. Кавеев М.С., Васильев Б.В., Галиев У.З., Хабибуллина Ф.С. Общие закономерности развития экзогеодинамических явлений на территории Татарии // Известия КФАН СССР, сер. геол. наук. – 1954. – № 2. – С. 76-93
65. Кавеев М.С., Хабибуллина Ф.С. и др. Инженерно-геологические условия территории Татарской АССР (Отчет по теме N 13 "Инженерно-геологическое районирование Татарской, Марийской и Чувашской АССР в масштабе 1:2500000 и ТАССР в масштабе 1:500000"). – Казань : Казанский геологический институт, 1965. – 506 с. – Фонды АО Татводхоз.
66. Кажокина В.А. и др. Составление цифровой карты четвертичных образований Республики Татарстан масштаба 1 : 200 000. Кн. 1. Казань: ГУП «Геоцентр РТ». 108 с.
67. Казаринов В.П. Кора выветривания. М.: Недра, 1959. 250 с.
68. Катаев В.Н. Основы структурного карстования: Учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: ПГУ, 2004. 143 с.

69. Катаев В.Н. Системный подход в анализе устойчивости карстовых массивов // Вестник Пермского университета. Геология. 1994. Вып. 3. С. 127-144.
70. Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лихая О.М. Компьютерное картографирование и моделирование в целях прогнозной оценки карстоопасности // Сергеевские чтения. Вып. 11. М.: ГЕОС, 2009. С. 109-114.
71. Каштанов С.Г. Карстовые явления в районе Казанского Поволжья // Доклады Академии наук СССР. 1943. Т. 40. № 2. С. 85-88.
72. Кожеватов Е.Д. Некоторые теоретические вопросы проблемы понятия "глубинный карст" // Методика изучения карста: Тезисы докладов. Пермь, 1985. С. 18-19.
73. Коломенский Е.Н. О возможности использования теории вероятностей для решения некоторых задач инженерной геологии // Вестник Московского университета. Серия: Геология. 1968. № 2. С. 85-90.
74. Коломенский Н.В. Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород в инженерно-геологических целях. М.: Госгеолиздат, 1952. 68 с.
75. Коломенский Н.В. Общая методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1968. 342 с.
76. Коломенский Н.В. Инженерная геология: в 2 т. / Н.В. Коломенский. – Москва: Госгеолиздат, 1951-1956. – 320 с.
77. Конев А.М. Строение, состав и свойства латеритные коры выветривания региона Димбокро (Кот д'Ивуар) // Известия вузов. Геология и разведка. 2012. № 1. С. 49-55.
78. Костарев В.П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инженерно-строительные изыскания. М., 1979. № 31(53). С. 49-53.

79. Крашенинников В.С. Локальная оценка карстовой опасности с учетом особенностей строения покрывающей толщи : специальность 25.00.08 "Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение" : дисс. на соискание уч. степени кандидата геол.-мин. наук / Крашенинников Вадим Сергеевич ; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – Москва, 2017.
80. Кухарев Н.М. Инженерно-геологические изыскания в областях развития карста в целях строительства. М.: Стройиздат, 1975. 168 с.
81. Ларочкина И.А. Концепция системного геологического анализа при поисках и разведке месторождений нефти на территории Татарстана / И.А. Ларочкина. – Казань : ФЭН, 2013. – 232 с.
82. Латыпов А.И., Гараева А.Н., Лунева О.В. Характеристика суффозионной опасности территории Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Грунтоведение. 2022. № 1(18). С. 31-43.
83. Латыпов А. И. Зональность профиля выветривания среднепермских глин на территории Восточного Закамья / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, Э. А. Королев, Ю. Н. Колчина // Вестник Пермского университета. Геология. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 125-135.
84. Латыпов А. И. Зональность профиля выветривания среднепермских песчаников на территории Восточного Закамья / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, Э. А. Королев // Грунтоведение. – 2024. – № 1(22). – С. 33-43.
85. Латыпов А. И. Интегральная оценка суффозионной опасности территории Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, О. В. Лунева, Э. А. Королев // Геоэкология. – 2022. – № 6. – С. 37-45.
86. Латыпов А. И. Об интерпретации данных статического зондирования / А. И. Латыпов, Е. Н. Яббарова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 10. – С. 82-90.

87. Латыпов А. И. Особенности строения и формирования элювиальных отложений в карбонатно-терригенных грунтовых массивах Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, Э. А. Королев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2023. – Т. 9 (75), № 4. – С. 62-75.
88. Латыпов А.И. Карбонатные элювиальные грунты Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Э.А. Королев // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 31 марта – 1 апреля 2022 г.). – Москва: ГеоИнфо, 2022. – Вып. 23. – С. 78-84.
89. Латыпов А.И. Оценка несущей способности свай, погруженных в элювиальные песчаники уржумского яруса Нижнекамского промышленного узла Республики Татарстан (Россия) / А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Э.А. Королев // Геотехника Беларуси: наука и практика : материалы международной конференции. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2023. – № 1. – С. 102-109.
90. Латыпов А.И. Оценка суффозионной опасности территории Восточного Закамья / А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Ю.Н. Колчина // Карст и пещеры : сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием. – Пермь, 2024.
91. Латыпов А.И. Региональные закономерности районирования гипергенных преобразований осадочных пород среднепермского возраста Восточного Закамья / А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Э.А. Королев // Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология. – Москва : ГеоИнфо, 2024. – Вып. 25. – С. 71-74.
92. Леонова А. В. Оценка оползневых процессов на территории г. Томска с использованием ГИС-технологий / А. В. Леонова, Л. А. Строкова, А. Н.

- Никитенков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. – № 1. – С. 94-103.
93. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология: учебник для вузов / В.Д. Ломтадзе. – Ленинград: Недра, 1970. – 527 с.
94. Лукашев К.И. Зональные геохимические типы коры выветривания на территории СССР / К.И. Лукашев. – Минск: БГУ, 1956. – 305 с.
95. Мазарович А.Н. Из области геоморфологии и истории рельефа Нижнего Поволжья // Землеведение. 1927. Т. 29, вып. 3-4. С. 21-42.
96. Мазарович А.Н. Стратиграфия четвертичных отложений Среднего Поволжья // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1935. Т. 4, вып. 2. С. 91-118.
97. Макеев В.М. Карта новейшей тектонической структуры территории Республики Татарстан. Масштаб 1:500 000. М.: ИГЭ РАН, 2001.
98. Макрыгина В.А., Конева А.А. Геохимия переотложенных и непереотложенных древних кор выветривания, Прибайкалье // Геохимия. 2010. № 8. С. 815-828.
99. Максютова К.М. Отчет о результатах разведки Аверьяновского месторождения известняков, Аверьяновского и Мало-Бугульминского месторождений песков. Казань: КГЭ, 1968. [Фонды ТГРУ].
100. Малышева О.Н., Дедков А.П. О «миндельском» аллювии в центральной части Среднего Поволжья // Материалы по геологии востока Русской платформы. Вып. 3. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1970. С. 3-29.
101. Марамчин С.А., Руднев М.Л., Семакин Ю.Г., Соловьева Е.А., Уланов Е.Е. Сводная геологическая карта доплейстоценовых отложений Республики Татарстан масштаба 1:200000. Пояснительная записка. Казань, 1997. [Фонды ТГРУ].
102. Маричев В.П. Взаимосвязь инженерно-геологических свойств элювиальных глинистых грунтов // Гидрогеология и инженерная геология Урала. Вып. 1. Свердловск, 1976. С. 69-75.

103. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов / Н.Н. Маслов. – Москва: Высшая школа, 1982. – 511 с.
104. Матвеев Ю.Д. К методике изучения выветрелых пород в инженерно-геологических целях // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 35-48.
105. Медведева Н.П. и др. Записка к изданию государственной гидрогеологической карты м-ба 1:200000 листов N-39-IV, N-39-V, N-39-VI. [Фонды ГО "Волгагеология"].
106. Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.: Гостоптехиздат, 1940. 88 с.
107. Милановский Е.В. Плиоценовые и четвертичные отложения Сызранского района // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1935. Т. 4, вып. 2. С. 175-221.
108. Мирчинк Г.Ф. Результаты работ Волжской экспедиции Академии наук СССР // Тр. комис. по изуч. четвертич. периода. 1932. Т. 3, вып. 2. С. 215-218.
109. Мозжерин В.В. Аналогии сыртовых глин на севере Приволжской возвышенности // Изв. вузов, сер. геол. и разв. 2000. № 1. С. 28-39.
110. Мочалов А.М., Кагермазова С.В., Гребенщеква Г.А. Учет влияния трещиноватости скальных и полускальных пород на прочность массива при оценке устойчивости бортов карьеров по данным разведки // Записки горного института. 2011. Т. 190. С. 304-309.
111. Муравьев Ф. А. Карбонатный элювий на территории г. Казани / Ф. А. Муравьев, Н. И. Жаркова, А. И. Латыпов // Инженерная геология. – 2013. – № 4. – С. 34-43.
112. Мурчисон Р.И. и др. Геологическое описание Европейской России и хребта Уральского. Ч. 1-2. СПб., 1849. С. 3-29.
113. Мусин А.Г. Карст Бугульминско-Белебеевской возвышенности: дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 1966. 140 с.

114. Мусин А.Г. Роль рельефообразующих процессов в карстообразовании / А. Г. Мусин, С. К. Губеева // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4.
115. Нгуен Ч.К., Фоменко, И.К., Пендин, В.В., & Нгуен, К.Т. (2017). Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный лаокай, Вьетнам). Геоинформатика-2017, Геоэкология, 2, 53-66.
116. Николаев Н.И. Плиоценовые и четвертичные отложения сыртовой части Заволжья // Тр. комис. по изуч. четв. пер. 1935. Т. 4, вып. 2. С. 119-174.
117. Новопоселенских Л.А., Бахарева Н.С. Суффозионные процессы на территориях городов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2.
118. Ноинский М.Э. Геологическое строение и полезные ископаемые Республики Татарстан // Географическое описание Тат. Респ. Казань, 1921. Ч. 1. С. 13-57.
119. Опасные экзогенные процессы / В.И. Осипов, В.М. Кутепов и др.; под ред. В.И. Осипова. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
120. Осипов В.И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // Грунтоведение. 2013. №2. С.3-34.
121. П 49-90 (ВНИИГ). Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. Ленинград: ВНИИГ им.В.Е.Веденеева, 1991.
122. П 55-76 (ВНИИГ). Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотин из грунтовых материалов. Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1976. 80 с.
123. П 56-90 (ВНИИГ). Рекомендации по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. Санкт-Петербург: ВНИИГ им.В.Е. Веденеева, 1992.

124. Патент 021382 Российская Федерация, МПК G01N 3/10. Устройство для определения суффозионной устойчивости и деформационных свойств грунтов и способ его использования / Латыпов А.И., Гараева А.Н., Софинская О.А.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО КФУ. № 2022110200/28; заявл. 15.04.2022; опубл. 15.04.2022.
125. Пендин Г.К., Бондарик В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика. Москва, 2007.
126. Петров В.П. Мониторинг объектов риска. Проблемы управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях на территории Татарстана // Мониторинг. 1997. № 1. С. 8-14.
127. Польшванов Б.Б. Кора выветривания. Процессы выветривания. М.: АН СССР, 1934. 45 с.
128. Полянин В.А. Литологические исследования четвертичных отложений долин Волги и Камы на территории Татарии // Учен. зап. Казанск. ун-та. 1957. Т. 117, кн. 4. С. 13-212.
129. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1959. 510 с.
130. Рагозин А.Л. Региональная оценка карстовой опасности и риска // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2003. № 4. С. 33-52.
131. Разумова В.Н. Коры выветривания латеритного и каолитового типа основных пород // Труды ГИН АН СССР. 1977. Вып. 174. 252 с.
132. Разумова В.Н., Херасков Н.П. Геологические типы кор выветривания // Докл. АН СССР. 1936. Т. 148, № 6. С. 267.
133. Рекомендации по оценке инженерно-геологических свойств элювия карбонатных грунтов и учету их изменения при строительстве / ПНИИС. М.: Стройиздат, 1986. 32 с.
134. Рябуха А. Г. К проблеме перигляциального рельефообразования на территории Оренбургской области / А.Г. Рябуха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 352-354.

135. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 443 с.
136. Сагдудинов И.А. Поиски и поисково-оценочные работы на карбонатные породы для известкования почв в Бугульминском районе. Казань: Приволжская ГРЭ ТРГГП "Татарстангеология", 1996.
137. Сапожников Д.Г. О структурно-тектонической приуроченности древних кор выветривания // Кора выветривания. М.: Наука, 1968. Вып. 10. С. 136.
138. Сафронова А.А. Особенности образования карбонатной муки / А.А. Сафронова // Карстование XXI: теоретическое и практическое значение. – Пермь, 2004. – С. 78-81.
139. Селивановский Б.В. Современный карст Среднего Поволжья // Учен. записки КГУ. Сер. Геология. 1952. Т. 112, кн. 8. С. 100-118.
140. Селивановский Б.В., Каштанов С.Г. О карстовых процессах и карстовых формах рельефа в Среднем Поволжье // Региональное карстование. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 55-61.
141. Сергеев Е.В. Общее грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1952. 383 с.
142. Сергеев Е.М. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Е.М. Сергеев. – Москва: Недра, 1986. – 254 с.
143. Соловьев Ю.К., Пирожкова Л.М. Отчет о результатах детальной разведки месторождений известняков (Шугуровский, Ново-Письмянский, Бугульминский, Ютазинский районы). Казань: ТНГР, 1952.
144. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2017.
145. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. М.: Стандартинформ, 2019.
146. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. М.: Стандартинформ, 2017.

147. СП 91.13330.2012. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80. М.: Минрегион России, 2012.
148. Степанов В.А., Моисеенко В.Г., Мельников А.В. Состав кор выветривания Верхнего Приамурья // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438, № 1. С. 82-90.
149. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 231 с.
150. Строкова Л.А., Леонова А.В. Оценка суффозионной опасности на территории г. Томска // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 5. С. 49-59.
151. Строкова Л. А. Оценка суффозионной опасности территории пос. Сабетта (полуостров Ямал) / Л. А. Строкова, Е. А. Епифанова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 95–106.
152. Строкова Л. А. Применение линеаментного анализа для оценки карстоопасности при проектировании магистрального газопровода в южной Якутии / Л. А. Строкова, А. В. Ежкова, А. В. Леонова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 11. – С. 117–126.
153. Ступишин А.В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанского университета, 1967. 292 с.
154. Сунгатуллин Р.Х. Влияние техногенеза на формирование современных кор выветривания и водоносных ареалов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. № 6. С. 494-502.
155. Сунгатуллин Р. Х. Моделирование природных и техногенных систем промышленно-урбанизированных регионов : на примере Республики

Татарстан: специальность 25.00.36 "Геоэкология" : дисс. на соискание уч. степени доктора геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2010.

156. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1986. 254 с.
157. Тер-Мартirosян З.Г., Анисимов В.В., Тер-Мартirosян А.З. Механическая суффозия: Экспериментальные и теоретические основы // Инженерная геология. 2009. № 4. С. 28-40.
158. Тихвинская Е.И. Тектоника // Геология Татарской АССР и прилегающей территории в пределах 109 листа. Ч. 2. М.-Л.: Гос. научно-тех. издат., 1939.
159. Торсуев Н.П. Карст, его влияние на природную территориальную систему, методы количественной оценки // Проблемы отраслевой и комплексной географии. Казань: Изд-во Казанского университета, 1976. С. 98-108.
160. Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты / В.Т. Трофимов. – Москва: Издательство Московского университета, 1977. – 276 с.
161. Трофимов В. Т. Инженерно-геологические карты: учебное пособие для студентов университетов, обучающихся по направлению 020300 (511000) "Геология" / В. Т. Трофимов, Н. С. Красилова; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет. – 3-е издание. – Москва : Книжный дом Университет, 2011. – 383 с
162. Уткин М.М. Динамика развития подземных и поверхностных проявлений карста и методика оценки их опасности. Москва, 2019. 117 с.
163. Федотов В.И. Прогноз прочности и сжимаемости оснований из обломочных грунтов. М.: Стройиздат, 1988. 125 с.

164. Хабибуллина Ф.С. Овражно-балочная расчлененность территории Татарстан // Известия Казанского филиала АН СССР, сер. геол. наук. 1950. Вып. 1.
165. Холодов В.Н. Киммерийская железорудная провинция Причерноморья, условия ее формирования и перспективы / В. Н. Холодов, Е. В. Голубовская, Р.И. Недумов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2014. – № 3. – С. 5-35.
166. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.
167. Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М.: Наука, 1986. 97 с.
168. Хоменко В.П., Коломенский Е.Н. Влияние подземных полостей на состояние вышележащих дисперсных пород // Промышленное и гражданское строительство. 2000. № 8. С. 39–41.
169. Цилюрик Н.А. Испытания грунтов в стабилometре // Исследование грунтов оснований. Применение виброметода для разработки грунтов. М.: Госстройиздат, 1961. С. 39-53.
170. Чаповский Е.Г. Инженерная геология (основы инженерно-геологического изучения горных пород) / Е.Г. Чаповский. – Москва: Высшая школа, 1975. – 296 с.
171. Черняк Э.Р. Будущее – за региональными таблицами нормативных и расчётных показателей физико-механических свойств грунтов // Инженерная геология. 2011. №9. С. 4-9.
172. Черняковский А.Г. Элювий и продукты его преобразования (Казахстан и Средняя Азия). М.: Наука, 1966.
173. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. ин-та геолог. наук. 1951. Вып. 135.

174. Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения (распространение, структуры, текстуры) / В.Н. Шванов. – Ленинград: Недра, 1969. – 248 с.
175. Швец В.Б. Элювиальные грунты как основания сооружений / В.Б. Швец. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1993. – 224 с.
176. Шестернев Д.М. Физическое и химическое выветривание массивов горных пород в криолитозоне / Д.М. Шестернев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 350-360.
177. Широков В.Н. Рекомендации по оценке просадочности элювиальных грунтов Челябинской области / В.Н. Широков [и др.]. – Челябинск: ЧПИ, 1989. – 23 с.
178. Яббарова Е. Н. Опыт исследования грунтов с использованием метода статического зондирования на объектах г. Казани / Е. Н. Яббарова, А. И. Латыпов, А. А. Дивеев // Инженерные изыскания. – 2021. – Т. 15, № 3-4. – С. 8-19.
179. Яббарова Е. Н. Уточнение корреляционных зависимостей между данными статического зондирования и деформационно-прочностными характеристиками грунтов / Е. Н. Яббарова, А. И. Латыпов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 6. – С. 82-89.
180. Яббарова Е.Н. Изучение грунтовых условий г. Казани методом статического зондирования / Е.Н. Яббарова, А.И. Латыпов // Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии: сборник международной научной конференции. – Москва, 2021. – С. 287-290.
181. Яббарова Е.Н. Построение корреляционных зависимостей между данными статического зондирования грунтов и показателями их состояния на примере Вахитовского района города Казани / Е.Н. Яббарова, А.И. Латыпов // Уральская горная школа – регионам: материалы международной научно-практической конференции

(Екатеринбург, 8-9 апреля 2019 г.). – Екатеринбург: УГГУ, 2019. – С. 88-89.

182. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. М.: Недра, 1974. 144 с.
183. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. М.: Недра, 1991. 139 с.
184. Anikeev A., Chumachenko S. Karst-suffusion sinkholes on the bugulma highland // *Geomorfologia*. 2011. №3. P. 32-41.
185. Asmaa G.S. Review on granitic residual soils geotechnical properties // *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Geoguide 3. Guide to rock and soil descriptions. Hong Kong: Geotechnical Engineering office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong, 1988. 65 p.
186. Blight G.E., Leong E.C. *Mechanics of residual soils*. Taylor&Francis Group LLC, 2012. 388 p.
187. BS 5930:1999. Code of practice for site investigation. London: British Standards Institution, 1999.
188. Cheng, Y. (2012). Analysis on mineralization geological conditions of Danchi metallogenetic belt. Guanxi, China. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 978-983.
189. Derakhshan-Babaei, F. Relating the spatial variability of chemical weathering and erosion to geological and topographical zones / F. Derakhshan-Babaei, K. Nosrati, D. Tihomirov, M. Chistl, H. Sadough, M. Egli // *Geomorphology*. – 2020. – Vol. 363. – P. 107235.
190. Dixon, J., & von Blankenburg, F. (2012). Soils as pacemakers and limiters of global silicate weathering. *Comptes Rendus Geoscience*, 344(11-12), 597-609.
191. Dong X., Cohen M., Martin J. et al. Ecohydrologic processes and soil thickness feedbacks control limestone-weathering rates in a karst Landscape

// Chemical Geology. 2019. V. 527.

DOI:10.1016/J.CHEMGEO.2018.05.021

192. Dosseto A., Turner S., & Chappel, J. (2008). The evolution of weathering profiles through time: New insights from uranium-series isotopes. *Earth and Planetary Science Letters*, 359-371.
193. Fookes, P.G. (1975). The classification and description of near-shore carbonate sediments for engineering purpose. *Geotechnique*, 25(2), 406-411.
194. Irfan T.Y. Mineralogy and fabric characterization and classification granitic rocks in Hong Kong: report № 41. Hong Kong: Geotechnical Engineering office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong, 1996. 158 p.
195. Jworchan I. Mineralogy and chemical properties of residual soils. The Geological Society of London, IAEG, 2006. Paper № 21. 68 p.
196. Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia. *Geomorphology*, 74, 17-28.
197. Latypov A., Zharkova N., Mouraviev F. Dispersed weathering products of carbonate rock: Features and formation conditions from the construction's point of view (by the example of Kazan, Russia) // *Global View of Engineering Geology and the Environmental*. Proceeding of the international symposium and 9th Asian regional conference of IAEG, Beijing, China. 2013. P. 891-896.
198. Latypov A. Calculation of the stress-strain state of soil massifs with karst-suffusion cavities / A. Latypov, N. Zharkova, A. Ter-Martirosyan // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 365. – P. 042058.
199. Latypov A. Patterns of distribution of eluvia soils in the oil region of Tatarstan / A. Latypov, A. Garaeva. – // *VII International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VII-2024)*. – 2024. – Vol. 524.

200. Latypov A. Regional patterns of zoning hypergenic transformations of sedimentary rocks of the middle Permian age of the Eastern Zakamye / A. Latypov, E. Korolev, A. Garaeva // II International Scientific and Practical Conference "Energy, Ecology and Technology in Agriculture" (EEA2023). – 2024. – Vol. 480.
201. Latypov A. Using Plaxis software for the forecasting of karst-suffusion failures in carbonate eluvium / A. Latypov, N. Zharkova, A. Ter-Martirosyan // 17th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. – Albena, Bulgaria, 2017. – Vol. 17. – P. 969-976.
202. Latypov A.I. Dispersed weathering products of carbonate rock: Features and formation conditions from the construction's point of view (by the example of Kazan, Russia) / A.I. Latypov, N.I. Zharkova, F.A. Mouraviev // Global View of Engineering Geology and the Environmental. Proceeding of the international symposium and 9th Asian regional conference of IAEG. – Beijing, China, 2013. – P. 891-896.
203. Little A.L. The engineering classification of residual tropical soils // Proc. Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City. 1969. Vol. 1. P. 1-10.
204. Mayne P. Stress-strain-strength-flow parameters from enhances in-situ tests // International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories. 2001. P. 27–48.
205. Meyer N., Kuhwald M., Petersen J. et al. Soil development in weathering pits of a granitic dome (Enchanted Rock) in central Texas // Catena. 2021. №199.
206. Migoń P. (2004). Structural control in the evolution of granite landscape. Acta Universitatis Carolinae, Geographica, 39 (1), 19-32.
207. Newstadt L.I. Methods of geological researching fracturing rock at engineering-geological research. Moscow - Leningrad, 1957. 150 p.
208. Ollier, C.D. (1969). Geomorphology: Weathering. Elsevier, New York. Geomorphology Texts vol 2.

209. Startsev A. Soils on eluvium of Permian carbonate deposits and the change in their chemical properties under the influence of bog formation // Moscow University soil science bulletin (USA). №40(3). P. 1-7.
210. Strokova L., Epifanova E. Assessment of suffusion in the territory of settlement Sabetta, the Yamal peninsula // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. 2021. №332(7). P. 95–106.
211. Strokova L., Leonova A. Assessment of suffusion hazard on the territory of Tomsk // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. 2021. №332(5). P. 49–59.
212. Taylor G., & Eggleton, R.A. (2001). Regolith Geology and Geomorphology. Chichester, New York.
213. Xiaolidong M., Cohen J., Martin D. et al. Ecohydrologic processes and soil thickness feedbacks control limestone-weathering rates in a karst Landscape // Chemical Geology. 2019. №527.
214. Yabbarova E. N. Application of Machine Learning for Prediction of Cone Penetration Test Data / E. N. Yabbarova, A. A. Zaikin, A. I. Latypov. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 666. – P. 1
215. Yabbarova E. N. Determination of the Bearing Capacity of Piles Using the Cone Penetration Test / E. N. Yabbarova, A. I. Latypov, E. A. Korolev. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 753. – P. 1-7.
216. Yongsheng Cheng. Analysis on mineralization geological conditions of Danchi metallogenetic belt. Guanxi, China // Procedia Environmental sciences. 2012. №12. P. 978-983.
217. Ziangirov R, Kashirskii V Use of static-penetration data to evaluate deformation properties of dispersive soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering 42(1): – 2005. p. 15–21.

ПАО «ТАТНЕФТЬ»
имени В.Д. Шашина



В.Д. Шашин исемендәге
«ТАТНЕФТЬ» ААҖ

УПРАВЛЕНИЕ ПО РЕАЛИЗАЦИИ
ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

ТӨЗЕЛеш ПРОЕКТЛАРЫН
ТОРМЫШКА АШЫРУ ИДАРӘСЕ

ул. Ленина, 75, г. Альметьевск,
Республика Татарстан, 423450

Ленин ур., 75, Әлмәт шәһәре,
Татарстан Республикасы, 423450

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
докторской диссертационной работы
Латыпова Айрата Исламгалиевича

Комиссия в составе:

председатель Начальник Управления по реализации проектов строительства ПАО «Татнефть» Абдрахманов Р.А.

члены комиссии: Руководитель Службы проектирования Исмагилова О.С., Заместитель начальника управления Ильичев А.И.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Латыпова Айрата Исламгалиевича **«Строение и инженерно-геологические особенности толщ элювиальных грунтов Восточного Закамья»**, представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, использованы в деятельности отдела инженерных изысканий АО «Нефтехимпроект» при выполнении инженерно-геологических изысканий на объектах проектирования и строительства.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) получены новые сведения о распространении и инженерно-геологических характеристиках элювиальных грунтов на территории Восточного Закамья (юго-восток Республики Татарстан);
- 2) выявлены взаимосвязи между минеральным, химическим составом, строением профилей выветривания и физико-механическими свойствами терригенных и карбонатных элювиальных грунтов Восточного Закамья;

- 3) разработаны региональных таблиц механических характеристик элювиальных грунтов, что имеет значимое практическое применение при проведении изысканий и проектировании инженерных объектов;
- 4) предложен новый подход к идентификации элювиальных грунтов с помощью метода статического зондирования;
- 5) создана серия карт: инженерно-геологического районирования, мощностей элювия по терригенным и карбонатным породам, карты суффозионной опасности для исследуемой территории, которые могут быть использованы для планирования инженерных изысканий при градостроительном проектировании.

Заключение: Использование указанных результатов позволяет повысить эффективность инженерно-геологических изысканий, повысить качество проектирования, сократить затраты на проведение работ. Результаты исследований внедрялись при выполнении инженерно-геологических изысканий объектов ПАО «Татнефть», таких как:

- «АО «ТАНЕКО». «Комплекс нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов». Установка замедленного коксования тит. 1015 секция 5102 с объектами общезаводского хозяйства»
- «Комбинированная установка ароматики Титул 1011 с объектами ОЗХ. «Комплекс нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов» АО «ТАНЕКО» 1 этап строительства»
- «АО «Танеко». «Комплекс нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов». Титул 1013 «Комбинированная установка аминовой очистки и отпарки кислых стоков (секции 3210, 3310)»
- «Установка по производству микробного белка»

Председатель комиссии:

Начальник управления



Абдрахманов Р.А.

Члены комиссии:

Заместитель начальника управления

Ильичев А.И.

Руководитель Службы проектирования

Исмагилова О.С.