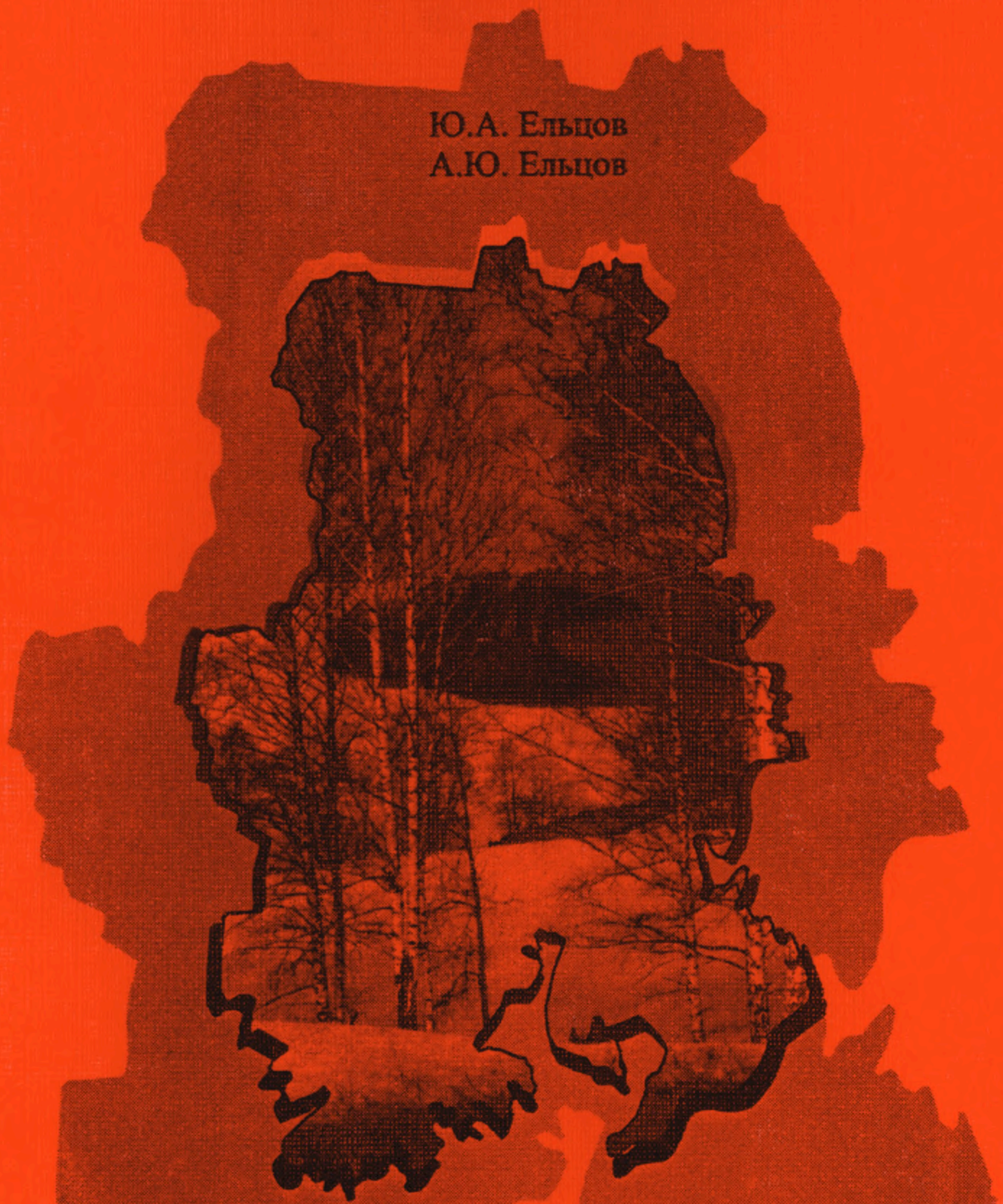
Ю.А. Ельцов
А.Ю. Ельцов



ГРУНТОЭКОЛОГИЯ УДМУРТИИ

Ижевск
2003

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.131

Ельцов Ю.А., Ельцов А.Ю Грунтоэкология Удмуртии.

Грунтовые условия Удмуртии впервые были обобщены Ю.А.Ельцовым в его труде «Грунты Удмуртии», 1981 год. В настоящем издании данные о грунтоэкологической обстановке расширены и дополнены новыми сведениями. Здесь строители и хозяйственники найдут сведения по рациональному использованию грунтовой среды как среды обитания и строительно-хозяйственной деятельности, с учетом региональных особенностей грунтов Удмуртии.

Рецензент:
к.т.н., профессор, декан строительного факультета ИжГТУ
Н.И. Невзоров.

Издание подготовлено к печати редакцией журнала
«Строительный вестник в Удмуртии», 2003 г.

Отпечатано с готовых диапозитивов в МУП «Сарапульская типография», г Сарапул, ул. Раскольникова, 152. Тираж 300х44, заказ № 319-2003 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Благоприятные инженерно-геологические (грунтоэкологические) условия Удмуртии и большой фактический материал, накопленный изыскателями, строителями и учеными, был ранее обобщен в работе «Грунты Удмуртии», которая стала первым сводным трудом по созданию региональных строительных норм типа РСН

В настоящей монографии изложены результаты работ местных специалистов и новых исследований авторов При этом не ставилась задача подробного их описания, а делались ссылки на использованные источники Основное же внимание было уделено проблемным и малоизученным аспектам, влияющим на правильность грунтоэкологических оценок В работе описаны верхнепермские грунты, прочностные свойства которых значительно отличаются от четвертичных грунтов и изучение которых известными лабораторными и штамповыми испытаниями не дает надежных сведений Поэтому основными методами их изучения выбраны исследования проникание м и погружением конусов, статическим и динамическим испытанием свай

Разобщенность и некомплексность некоторых испытаний грунтов не позволили в полной мере использовать аппарат математической статистики для установления обобщенных показателей по ГОСТ, поэтому для выбора направлений дальнейших исследований и предварительной оценки некоторых прочностных показателей авторы ограничились упрощенными графоаналитическими решениями

Некоторые приемы исследования, теоретические и методические положения разработаны впервые, что потребовало введения новых терминов По этой же причине часть решений следует считать предварительными Это может вызвать критику, но авторы надеются, что обсуждение дискуссионных положений будет способствовать их совершенствованию

Авторы выражают признательность руководству ООО ПКФ «ЕС» и редакции журнала «Строительный вестник в Удмуртии» за помощь в издании сборника

Монография предназначается для строителей и студентов строительных специальностей, для изыскателей и проектировщиков

Глава I. ПРИРОДНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1. Основные этапы изучения грунтов и подземных вод

Со строительством кирпичных построек (Бемыжский медеплавильный завод, 1775 г, церковь Преображения в Глазове, 1786 г и другие здания) возникла потребность в исследованиях грунтов

Первым зодчим, изучавшим грунты при крупном промышленном строительстве (1807-1824 гг), был С Е Дудин, который начал динамические испытания деревянных свай и совместно с А Ф Дерябиным выполнил первое грунтоэкологическое районирование Ижевского завода и поселка [16]

С развитием промышленного строительства в 1826 году создается первый минералогический кабинет на Воткинском заводе, организуются первые геологические (геогностические) партии для разведки залежей угля, строительных материалов и других полезных ископаемых [31]

В Ижевске в 1850 году на 24 кирпичных заводских здания, 3 церкви и 3499 деревянных домов имелось 1106 колодцев и использовались водоисточники по берегу пруда [25]

Специальные геологические и гидрогеологические работы были проведены в начале 90-х годов XIX столетия геологом П И Кротовым Им были обследованы, в частности, минеральные воды и грязи в селе Варзи-Ятчи, изучен состав вод Ижевского минерального источника, позднее, в 1903 году, оборудованного для использования стараниями Д Ф Спиридонова [13] Первые линейные изыскания большой протяженности следует связывать с прокладкой трассы железной дороги Вятка-Пермь в конце XIX века

Глубокое структурное бурение в 1939-40-х годах выявило наличие минеральных и рассольных вод под Глазовом, а начатые в 1945 году поиски нефти установили повсеместное их распространение на территории Удмуртии Изучением химического состава этих вод плодотворно занимался В И Наумов [23] В двадцатом веке изучение грунтов и использование подземных вод приобрело планомерный и систематический характер Была создана специальная организация по бурению на воду, в становлении которой заметный вклад внесли М И Штин, А И Королев и др В 40-х годах этого столетия большой объем геологического картирования отдельных районов республики выполнила Удмуртская геологическая контора, на базе которой в 1938 году образовался постоянный изыскательский отряд при Ижевском металлургическом заводе

С созданием в 1948 года постоянно действующего изыскательского подразделения при Удмуртской проектной конторе, а в 1955 году Удмуртского филиала «Росгипрогорсельстрой» (позднее объединенных в проектный институт «Удмуртгражданпроект») началось формирование регулярной службы по изучению грунтов В организации этой службы большая заслуга принадлежит Н П Кыласовой и Ю А Ельцову Стараниями Ю А Ельцова, Ф И Сергеева, А К Андреева, С З Попова, Т А Соловьевой, С А Карсканова и других в Удмуртии стали внедряться современные технические средства испытания грунтов, началась систематизация материалов изысканий и физико-механических свойств грунтов В это же время создавалась лабораторная база опробования грунтов, в формировании которой участвовали А К Суворова, В И Чебышева, Д А Абрамова и др

Особый вклад в исследование грунтов, находящихся в водонасыщенном состоянии, и в разработку научных рекомендаций устройства фундаментов на этих грунтах внес в довоенные годы при реконструкции плотины Ижевского пруда и при строительстве завода «Ижсталь» Всесоюзный институт по сложным фундаментам ВИОС

В 50-60-е годы крупномасштабные инженерно-геологические изыскания были сделаны институтом «Гидропроект» для проектирования Воткинской и Нижнекамской ГЭС

В 60-70-х годах на территории Удмуртии Горьковским геологическим управлением была выполнена комплексная геологическая съемка, включавшая изучение геоморфологического строения, гидрогеологических и инженерно-геологических условий

Первый кустовой водозабор подземных вод был сооружен по проекту и под руководством Ю А Ельцова в 1961 году на Южном поселке г Воткинска В г Сарапуле на острове Зеленый в 70-х годах был сооружен инфильтрационный водозабор из линейного ряда водозаборных скважин

Изучением грунтов в Удмуртии в период до 1991 года занимались изыскательские подразделения при институтах «Удмуртгражданпроект», «Удмуртсельпроект», «Ленгипроводхоз», «Ипромашпром» и других организациях С 1976 года Ю А Ельцов и др начали исследование грунтов на современной научно-технической основе на инженерно-строительном факультете Ижевского механического института

Под руководством В А Кожевникова в 1974-1976 годах в санатории «Металлург» было осуществлено бурение пяти скважин, вскрывших минерализованные и минеральные воды, а также рассолы с разных глубин до 1026 м Таким образом, гидрогеологические прогнозы о возможности получения вод разного состава в одном месте для лечебно-оздоровительных целей, обоснованные ранее, нашли подтверждение и практическую реализацию [10]

1.2. О грунтоэкологии

Широкий размах строительства в России, в том числе в Удмуртии, привлек к решению проблем освоения территорий и строительства специалистов многих отраслей знания, включая геологов В связи с этим потребовалась их подготовка и приближение геологических наук к нуждам строительства В этих условиях возникла новая специальность и дисциплина – инженерная (техническая) геология

Освоение и застройка больших территорий привели к экологически неблагоприятным изменениям природной среды Это потребовало создания междисциплинарной науки «Геоэкология» (по предложению академика В И Осипова), изучающей «неживое вещество геосферных оболочек Земли как компоненту окружающей среды и минеральную основу биосферы» Основное внимание в новой науке уделено верхней части литосферы и процессам, происходящим в ней под влиянием природных и техногенных факторов

Одновременно под аналогичным названием появились труды географического направления В условиях изменения городской среды возникла необходимость подготовки «геоэкологов» Этому было уделено особое внимание на конференции «Экологическая геология и рациональное природопользование» (С -Петербург, 1997) В этих условиях правомерно изменить название дисциплины о грунтовой среде для специалистов строительного профиля

Изучение инженерной геологии, наряду с природоведением и механикой грунтов, включено в программу подготовки инженеров-строителей в виде отдельных предметов, хотя по сути своей они являются частями одной комплексной дисциплины, называемой учеными по-разному «Основы грунтоведения и механики грунтов», «Основы механики грунтов и инженерной геологии», «Геоэкология» и т д Целесообразно объединенную дисциплину называть кратко и обобщенно Этому требованию наиболее всего отвечает название «Грунтоэкология», так как объектом рассмотрения и использования в строительстве является грунт как среда обитания и строительно-хозяйственной деятельности человека Следовательно, в отличие от инженерной геологии и грунтоведения, грунтоэкология – это область знаний о грунтах для подготовки специалистов строительной отрасли

В соответствии со Строительными нормами и правилами для отдельных районов страны, где грунтовые условия имеют существенные местные отличия, разрабатываются свои региональные нормативы и описания грунтов, куда включаются также разделы по геологии, гидрогеологии и другим смежным дисциплинам Например, «Строительные свойства грунтов района Ленинграда» и др Такие обобщающие работы, предназначенные для изыскателей, проектировщиков и строителей, более удобно и правильно называть грунтоэкологией региона Следовательно, название «Грунтоэкология Удмуртии» более отвечает региональному описанию грунтов

Итак, грунтоэкология является комплексной дисциплиной, изучающей покровную часть земной коры как объект строительной и хозяйственной деятельности человека Грунтоэкология исследует природногеологическую среду и ее динамику под влиянием природных и антропогенных (искусственно вызванных человеческой деятельностью) факторов, определяет физико-механические и химические свойства грунтов в совокупности с подземными водами, прогнозирует их изменение во времени, рассматривает напряжения и деформации оснований под влиянием внутренних и внешних сил Она позволяет давать оценку свойств грунтов, как под отдельными сооружениями, так и для целых регионов На базе ее теоретических и эмпирических положений производятся расчеты устойчивости фундаментов и подземных сооружений, склонов и откосов, обосновываются мероприятия по улучшению природно-геологической (геоэкологической) среды и по предотвращению неблагоприятных явлений в грунтах

Грунтоэкология, находясь на стыке двух областей знаний (геологии и строительства), тесно связана в первую очередь с инженерной геологией (геоэкологией), механикой грунтов и фундаментостроением Эти и другие связи грунтоэкологии схематично изображены на рис 1



Рис 1 Схема составных частей и связей грунтоэкологии с другими науками

Слово «грунт» (от немецкого «Grund») в строительную терминологию включено, по-видимому, под влиянием немецких специалистов в конце XVIII века Первую в России книгу по грунтам издал в журнале путей сообщения инженер М С Волков («Об исследовании грунтов земли производимом в строительном искусстве», С -Пб , 1835 г) С тех пор под термином «грунт» понимают естественную и искусственную среду оснований зданий и сооружений Сейчас этот термин прочно вошел в строительную литературу и обиход и трактуется как среда обитания и деятельности человека

1.3. Рельеф с элементами геоморфологии

Территория Удмуртии представляет собой невысокую равнину, сложенную осадочными верхнепермскими отложениями, имеющую общее понижение с севера на юг и с востока на запад [32] Она является частью Русской платформы и западного крыла погребенного Предуральского прогиба Близость Урала сказалась на геоморфологическом строении в целом Так, восточная половина республики представляет возвышенную зону обширного Верхне-Камского вала – слабо выраженного тектонического поднятия, простирающегося в направлении, близком к меридиональному Западная часть территории образована пологими внешними склонами этого вала, преобразованными денудационными процессами

На северо-востоке республики (правобережье реки Чепцы) расположена Верхне-Камская возвышенность Абсолютные отметки местности здесь достигают 323-330 м Район отличается значительной пересеченностью, обусловленной денудационными процессами, с перепадом высот до 100 и более метров

Южнее реки Чепцы, между ее притоком рекой Лозой и восточной границей Удмуртии, расположен также возвышенный и сильно изрезанный узкими речными долинами и логами район Здесь проходят водоразделы притоков рек Чепцы и Камы Отдельные возвышенности в Дебесском и Шарканском районах достигают 300-320 м над уровнем Балтийского моря

Местность в верховьях левых притоков реки Чепцы между рекой Лозой и западной границей представляет равнину, где небольшие возвышенности чередуются с ровными аккумулятивными площадями

На юго-востоке, между реками Иж и Кама, расположена Сарапульская возвышенность, наиболее высокая точка которой имеет отметку 249 м абсолютной высоты

По долине реки Кильмезь расположена обширная песчаная низина проблематичного происхождения, на которой пески образуют дюны, покрытые хвойным лесом В верхнем течении реки Кильмезь низины часто заболочены, здесь распространены торфяные болота

Местность в бассейне реки Иж отличается средней пересеченностью, формы долин оглажены денудационными процессами

В формировании геоморфологического строения Удмуртии еще многое не раскрыто Это, в первую очередь, касается начала развития денудационных процессов и превращения пенепленизированной палеоравнины в ярко выраженные возвышенности с хорошо разработанными глубокими речными долинами До конца не выяснена связь формирования долин современных рек с их палеоаналогами Вызывают возражения доводы о степени участия ледниковой деятельности в формировании некоторых элементов рельефа Выделенные на водоразделах «пуги», по нашему мнению, являются останцами мезозойского пенеплена

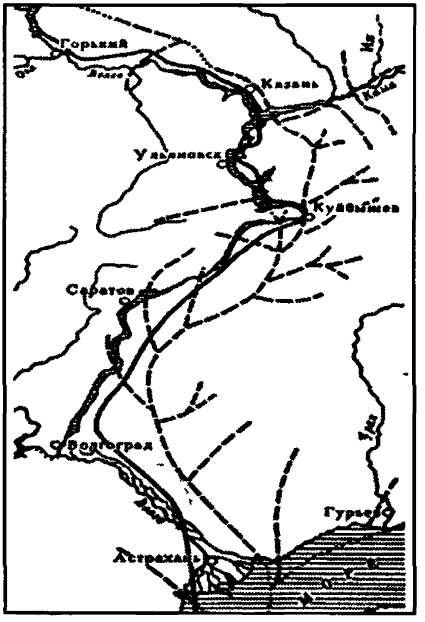


Рис 2 Схема погребенной речной сети Поволжья (по Е М Сергееву)
1 – среднеплейстоценовая сеть (пунктирная линия),
2 – то же, предполагаемая (точки),
3 – раннеплейстоценовое русло Волги (сплошная линия)

Противоречивы объяснения некоторыми специалистами асимметрии долин с право- и левосторонними крутыми склонами, например, рек Вала и Иж

Совершенно не изучены явления перехвата Камой рек, например, Ижа и, возможно, Сивы, о чем может свидетельствовать левосторонняя крутизна их коренных склонов

1.4. Климат

Климат республики умеренно-континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой и коротким летом [13]

Особенности атмосферной циркуляции, характерные для Предуралья, в том числе и для Удмуртии, определяются частотой и продолжительностью пребывания различных воздушных масс В основном здесь преобладают континентальные воздушные массы умеренных широт, которые летом имеют температуру плюс 15-20^{0}С, зимой около минус 15-20^{0}С

Проникновение морского воздуха умеренных широт, связанное с циклонической деятельностью, развивающейся над севером и северо-западом Европы, вызывает в холодное время года резкое повышение температуры и нередкое наступление кратковременных оттепелей

Летом вхождение морского воздуха приносит прохладную и влажную погоду

Континентальный арктический воздух, нередко вторгающийся в Удмуртию с севера, приносит сильные морозы зимой (до -40^0 и ниже), а также частые ночные заморозки весной и осенью

В летнее время изредка наблюдается поступление с юга и юго-востока очень теплых воздушных масс, с которыми связана засушливая жаркая погода Значительное различие в тепловом режиме районов республики объясняется протяженностью ее с севера на юг более чем на 300 км В целом северо-восток более холодный, чем юго-запад Установленные закономерности сезонной циркуляции воздушных масс позволили выделить преобладающие направления ветров зимой – с юго-запада, летом с северо-запада

Средняя годовая температура воздуха колеблется около +0,90^{0}С в северо-восточных районах и около +2,1^{0}С в юго-западных (см табл 1)

Самое теплое время года – вторая и третья декады июня, когда средняя температура воздуха за декаду чаще всего бывает порядка 18-19^{0}С, при этом в дневные часы она достигает обычно 20-23^{0}С Максимальная температура воздуха в это время года может достигать 35-38^{0}С Наиболее холодным периодом является третья декада января, когда температура

Таблица 1

Названи станциии	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	по году	Сумма среднемесячных отрицательных температур
Глазов	-15 1	-14 1	-7 9	1 4	10 0	14 7	17 5	14 9	8 9	1 8	-6 1	-12 2	1 2	55 4
Шаркан	-16 2	-14 7	-8 8	1 0	10 0	15 4	18 0	15 6	9 2	1 4	-6 7	-13 4	0 9	59 8
Сюмси	-14 7	-13 5	-7 9	2 0	11 0	16 0	18 3	16 0	9 5	2 4	-5 5	-12 3	1 8	53 9
Воткинск	-15 6	-14 3	-8 0	1 8	10 7	15 9	18 4	16 3	9 6	2 3	-6 0	-13 0	1 5	56 9
Вавож	-14 6	-13 2	-7 1	2 5	11 3	16 0	18 4	16 2	9 9	2 4	-5 6	-12 0	2 0	52 5
Сарапул	-14 8	-13 6	-7 4	2 2	11 6	16 6	18 8	16 4	10 0	2 6	-5 6	-12 6	2 0	53 6
Можга	-14 2	-13 3	-7 5	2 1	11 1	16 0	18 7	15 8	9 5	2 3	-5 8	-12 4	1 9	53 2
Игра	-14 8	-13 8	-7 7	2 0	9 8	15 2	17 5	15 2	9 0	1 2	-6 8	-12 8	1 2	55 9
Ижевск	-14 2	-13 5	-7 3	2 8	11 1	16 8	18 7	16 5	10 0	2 3	-5 6	-12 3	2 1	52 9
Дебесы	-15 0	-14 2	-8 2	1 8	10 0	15 6	17 8	15 6	9 2	1 6	-6 4	-13 1	1 2	56 9
Селты	-14 5	-13 8	-7 3	2 4	10 4	16 3	18 2	16 1	9 6	2 0	-5 8	-12 6	1 8	56 4

воздуха в среднем за декаду составляет -15°С, -16°С. Минимальные температуры воздуха бывают обычно -36°С, -40°С, а в наиболее холодные дни морозы достигают -47°С, -48°С.

На большей части территории республики за год выпадает 450-500 мм осадков, а за 5 месяцев летнего периода 250-350 мм. Климатические условия республики по сезонам кратко характеризуются следующими данными.

ЗИМА. Зимний период на севере республики продолжается обычно с 21-22/X по 10-13/IV, т.е. на 5-10 дней дольше, чем на юге.

Зима продолжительная и многоснежная. Снежный покров образуется на полях около 10/XI-18/XI и достигает 45-60 см в конце марта. В зависимости от толщины снега и низких температур находится глубина промерзания грунта. Наиболее интенсивно почва промерзает в ноябре и декабре, когда снежный покров еще мал, а температура может снижаться до -30°С, -36°С. В конце зимы промерзание грунта может достигать наибольших значений: в центральных и западных районах 65-90 см, в северных – до 70-100 (см. табл. 2). В зиму 1968-69 и 1969-70 годов мерзлота достигала на оголенных участках до 120-180 см. Более подробные сведения о промерзании грунтов изложены в главе VI.

ВЕСНА. Весна в Удмуртии начинается раньше на юго-западе, где положительная температура устанавливается около 7-8/IV, в других же районах – 9-11/IV. Во второй декаде апреля снег полностью сходит с полей, а около 21-26/IV воздух прогревается до +5°С и грунты полностью оттаивают на всю глубину.

ЛЕТО. В северной половине республики лето начинается обычно с 10-15/VI, а на юге на 10 дней раньше. Продолжительность летнего времени на юге составляет 2,5-3,0 месяца, на севере – 2 месяца.

ОСЕНЬ. 20-25 августа на юге и около 15-18/VIII на севере средняя температура воздуха устанавливается ниже +15°С и наступает переход к осени. Погода меняется, начинаются продолжительные дожди, создающие увеличенную влажность воздуха и грунтов.

Положительные температуры воздуха в Удмуртии держатся в среднем 190-200 дней.

Заморозки возможны в первой декаде июня, а на севере и в замкнутых низинах – во второй половине июня.

Таблица 2

Название станции	Период наблюдений	Тип грунта	Средняя глубина промерзания грунтов под снежным покровом, см					Максимальная глубина промерзания, см		
			I/XII	I/I	I/II	I/III	I/IV	средняя многолетняя	наибольшая	наименьшая
Глазов	1945-1959	Суглинистые	32	56	71	82	87	98	—	—
Дебессы	1947-1958	То же	34	43	48	56	62	69	—	—
Селты	1949-1957	То же	27	42	53	59	65	66	—	—
Воткинск	1949-1947, 1959	То же	43	69	74	81	85	97	—	—
Вавож	1948-1959	Супесчаный	20	31	48	56	59	66	—	—
Сарапул	1936-1948, 1949-1957	Суглинистый	23	38	47	58	63	66	104	24
Можга	1848-1957	Супесчаный	45	71	79	86	85	89	—	—

1.5. Глубина сезонного промерзания грунта

В СНиП по основаниям зданий и сооружений за нормативную глубину сезонного промерзания грунта принимается величина, равная средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания, по данным наблюдений за период не менее 10 лет за фактическим промерзанием грунтов под открытой, оголённой от снега поверхностью горизонтальной площадки, при уровне грунтовых вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов.

Специальных работ по изучению глубины промерзания для выработки нормативных показателей в Удмуртии не проводилось Имеются разрозненные данные о величине мерзлоты, установленной при бурении инженерно-геологических скважин Установленная при этих работах толщина мерзлоты по многолетним наблюдениям составляет максимум под оголенными участками шоссейных дорог, достигая 2-2,5 м

По данным Ижевской авиаметеостанции, максимальная промерзаемость за последние годы составила

Глазов	более 150 см,	Воткинск	150 см,
Можга	149 см,	Ижевск	139 см

Нормативная глубина промерзания на оголенной от снега площади по теплотехническим расчетам определяется по формуле

$$H^{H} = H_0\sqrt{\sum IT_H I}, \qquad (1)$$

где $\sum IT_H I$ – сумма абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму по результатам наблюдений гидрометеорологических станций,

H_0 – глубина промерзания при $\sum IT_H I = I$, зависящая от вида грунта, и принимается равной (см) для

суглинков и глин	– 23,
супесей, песков мелких и пылеватых	– 28,
песков крупных и средней крупности	– 30,
крупнообломочных грунтов	– 34

По формуле (1), на основании наблюдений гидрометеорологических станций, были рассчитаны нормативные глубины сезонного промерзания грунтов для населенных пунктов, перечисленных в таблице 3

Таблица 3

Населенный пункт	Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов, см			
	суглинки и глины	супеси, пески мелкие и пылеватые	пески крупные и средней крупности	крупно-обломочные грунты
Глазов	171	209	224	253
Шаркан	178	217	233	264
Сюмси	169	205	220	250
Воткинск	173	211	226	256
Вавож	167	203	217	246
Сарапул	168	205	220	249
Можга	168	204	219	248
Игра	172	209	224	253
Ижевск	167	203	217	246
Селты	172	210	225	255
Дебесы	173	211	226	256

По нашим наблюдениям, глубина промерзания в лесу под снежным покровом составляет 0,4-1,1 м, т е на 0,5-1,0 м меньше, чем в поле Глубина промерзания по данным бурения в парке им Кирова по единовременным замерам 5 04 97 г составила

- в лесу под снежной тропой в песках и супесях, подстилаемых суглинком – 1,7 м,
- в лесу под рыхлым снегом и подстилкой – 1,1-1,3 м,
- на лесной поляне под снежной тропой в песках, подстилаемых с глубины 1,25 м элювиальными глинами – 1,75 м,
- рядом с оголенной от снега дорогой в песках и супесях, подстилаемых изоглиной – 1,8-2,2 м

1.6. Геологическое строение верхней части разреза

Геологическое строение республики отличается однообразием, что обусловлено ее расположением на переходе Русской платформы в Предуральский прогиб Верхняя часть разреза здесь сложена осадками верхней перми (казанский и татарский ярусы)

Помимо пермских отложений, в западных и юго-западных районах встречаются участки с верхнетретичными осадками, в северных районах наблюдаются триасовые образования (см рис 3)

При инженерно-геологических (грунтоэкологических) изысканиях необходимо выделение пород коренных отложений верхнепермского возраста и покровных грунтов, в основном четвертичного возраста, между которыми есть существенные отличия, легко определяемые визуально Коренные отложения преимущественно прочные и относятся к скальным и полускальным (по строительной классификации) Покровные же грунты – нескальные, менее прочные Эти признаки доступны для классификационного подразделения и в полевых условиях, и на стройплощадке, понятны как изыскателям, так и строителям

Коренные отложения.

Верхняя пермь (P_2)

Основными коренными образованиями в верхней части разреза Удмуртии являются отложения казанского и татарского ярусов

Отложения казанского яруса ($P_2 kz$) распространены в южных районах, где главную массу составляют изоглины, песчаники, реже мергели и очень редко прослои известняка небольшой толщины до 0,5 м

Отложения казанского яруса очень не выдержаны по простиранию и вкрест простирания Характерным для этих отложений является то, что в основании они имеют толщу песчаников до 15-20 м Затем ее сменяет песчано-глинистая толща красноцветных отложений, а над нею залегает глинисто-мергелистая свита красно-бурой окраски Общая толщина этих, в основном континентальных, осадков достигает 100-200 м

Последними исследованиями на территории Удмуртии выявлено преобладание относительно плавных эпейрогенических опусканий и поднятий, преимущественно меридионального или близкого к нему направления, происходивших в течение казанского века

На основании изучения мощностей и фаций казанского яруса рисуется относительно простая схема палеотектонического районирования, унаследовавшая опускания с амплитудами до 220 м и накопление континентальных красноцветных отложений Так, толщина казанских отложений в пределах Глазовской синеклизы изменяется с запада на восток, от Вятского вала до г Глазова, от 120 до 160 м и с севера на юг, от Кажима к Ижевску, примерно от 100 до 220 м

Татарский ярус ($P_2 t$) на территории республики распространен исключительно широко и представлен с нижних до верхних горизонтов общей толщиной до 350 м

Если общее геологическое строение отличается единообразием, то разрез татарских отложений по фациальному составу весьма сложен и характеризуется частыми переходами от одной литологической разности к другой В целом отложения татарского яруса представлены переслаиванием красноцветных изоглин, алевритов с тонкими прослоями песчаников, реже мергелей и известняков

По исследованиям В.И Игнатьева, основную массу татарского яруса составляют озерные и аллювиальные отложения, и соотношение их между собой закономерно изменяется в пространстве и во времени Так, раннетатарский геологический период характеризуется неуклонными периодически усиливающимися или временно ослабевающими влияниями

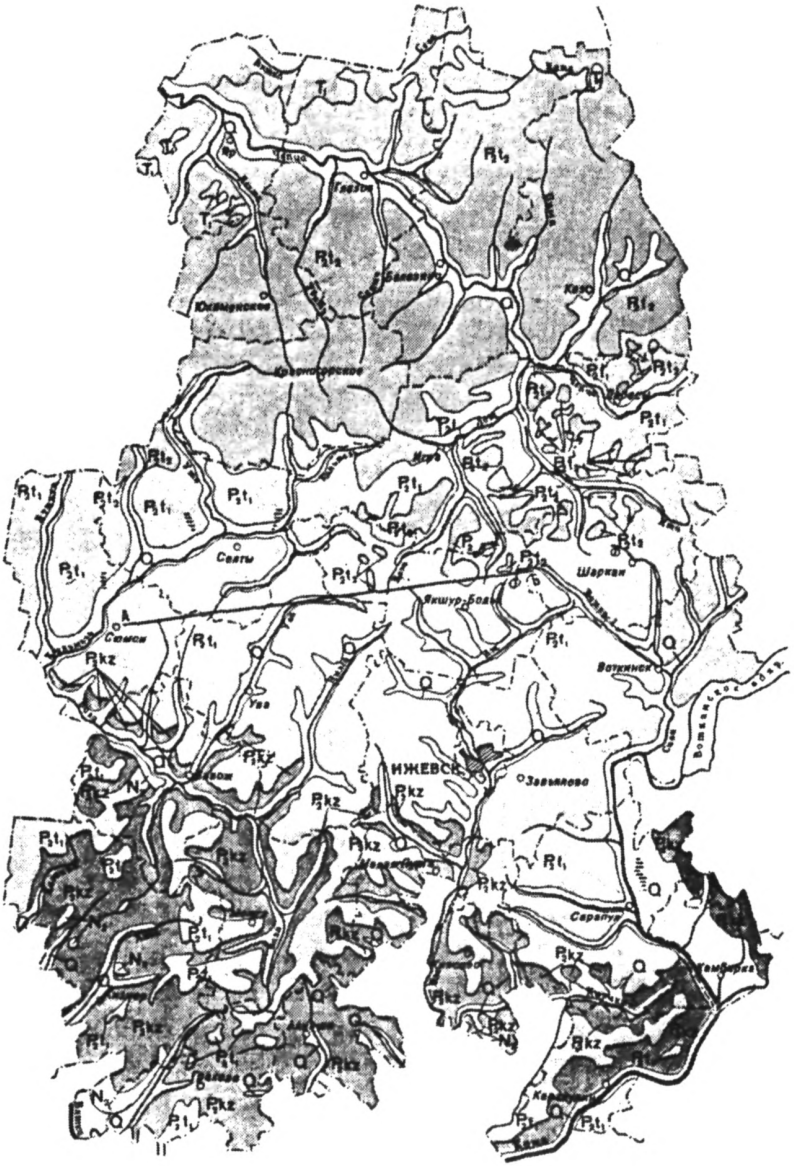


Рис.3. Геологическая карта:

Q – четвертичные отложения;
N_2 – неогеновая система;
T_1 – триасовые отложения;
P_2t – верхнепермские отложения;
P_2kz – отложения казанского яруса верхней перми.

пресноводного озера В среднетатарский геологический период наблюдается трехкратная смена развития аллювиальных равнин и озерных водоемов, происходившая на фоне усиления или ослабления твердого сноса с Урала К концу татарского времени происходит неуклонное сужение и исчезновение озерных бассейнов

Таким же образом доказывается, что галечниковые и песчано-галечниковые отложения из магматических и метаморфических пород Урала, обнаруженные в разрезах татарского яруса и нижнего триаса, являются стрежневыми фациями палеорусел При этом отмечается, что врезка палеорусел в татарские отложения может достигать 20-40 м

По нашим данным, такая врезка местами совмещается с более ранними размывами рек праКамы (первичной Камы), достигая в Ижевском и Воткинском районах до 100 и более метров, что превосходит современную врезку гидрографической сети Эта врезка обусловлена не разными палеоруслами татарского яруса, а единой речной системой палеореки (древнейшей реки), которая заложила генеральные направления долин крупных рек республики Такое строение подтверждается геологическими поперечными разрезами по долинам рек Вятка, Сива, Позимь и Иж Но следует отметить, что данная схема требует более широкого изучения и проверки

При последующих исследованиях следует также обратить внимание на отмеченную нами закономерность уменьшения размеров обломочного материала при снижении от водоразделов до тальвегов современной гидрографической сети, от галечников до мелких песков Крупные галечники с косослоистыми прослоями среднезернистых песков, иногда обогащенных черными марганцевыми включениями, сохранились на водоразделах в виде песчано-галечниковых русловых отложений палеореки В этом плане проблематичным становится датировка деятельности палеореки и бассейна палеоКамы Возникновение палеореки и оставленные ею русловые террасовые отложения следует относить к третичному возрасту Это подтверждается наличием марганцевых отложений (по аналогии с условиями формирования марганцевых месторождений восточного Урала, датируемых началом третичного времени, в более поздних отложениях марганца не обнаруживается ни в Предуралье, ни в Зауралье) Такая датировка совпадает со временем формирования палеорусел Волги, Камы и Вятки

Покровные отложения.

К покровным отложениям в Удмуртии следует относить нескальные грунты кайнозойской эры Это преимущественно песчано-глинистые грунты третичного и четвертичного возрастов Они резко отличаются по прочности от аналогичных коренных пород

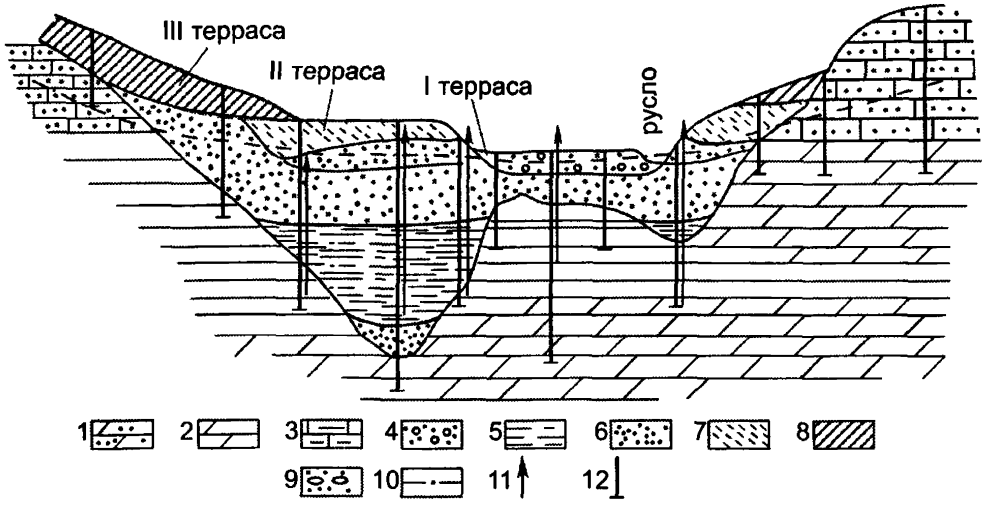
Третичные отложения (Tr)

Третичные отложения верхнего неогена имеют ограниченное распространение и отмечаются по долинам рек Кильмезь и Вала в пределах Селтинского, Сюмсинского, Вавожского, Малопургинского и других районов Эти отложения состоят из иловатых темного цвета глин с прослойками торфа, песков с конкрециями сферосидеритов и бурого железняка Общая толщина этих отложений достигает 40 и более метров По берегам речных долин они образуют многочисленные оплывины и оползни

В свете новых воззрений данные отложения можно отнести к донным и старичным осадкам нижней части бассейна рек палеоКамы

Изысканиями под гидроэлектростанции на реке Кама установлены основные контуры и направления дочетвертичных рек бассейна праКамы, заполненные третичными (акчагыл) песчано-глинистыми отложениями На рис 4 хорошо видны этапы выработки ложа, подчас расположенного за пределами современной поймы

Такое геоморфологическое строение типично для Камы и ее основных притоков, протекающих через Удмуртию При этом глубина древней и каньонообразной врезки достигает отметок абсолютного нуля при впадении в праКаму и сходит на нет к истокам



Палеозойские породы (верхняя пермь) 1 – песчаники, 2 – мергели, 3 – известняки, третичные отложения 4 – галечники, 5 – глины, четвертичные осадки 6 –пески, 7 – супеси, 8 – суглинки, 9 – галечники, 10 – уровень грунтовых вод, 11 – напорные подземные воды, 12 – буровые скважины

В долине реки Иж в ряде пунктов вскрыта погребенная третичная долина праИжа, например, в селе Малая Пурга на маслозаводе при бурении скважины на воду ложе прареки обнаружилось на глубине около 80 м

Четвертичные отложения (Q)

Четвертичные отложения по своим свойствам и происхождению подразделяются на

элювиальные (eQ),

древнеаллювиальные (aQ_{I-II}),

современные аллювиальные (aQ_{III-IV}),

делювиальные (dQ),

озерно-болотные (e + hQ),

нерасчлененные эоловые (vQ);

водноледниковые (fQ) и др

Принятая номенклатура доступна для классификации грунтов в поле и на стройке, не требуя специального изучения их возрастных признаков

Элювиальные грунты образуют своеобразную кору выветривания верхнепермских пород и отмечаются всюду Толщина коры не превышает 3-6 м

К древнеаллювиальным условно относятся песчано-галечные и песчано-глинистые отложения верхних террас современной гидрографической сети и подобные же отложения в нижней части современных террас и пойм ниже дна речной сети К современным аллювиальным относятся песчано-глинистые отложения, распространенные в верхней части разреза речных пойм выше меженного уровня воды Такое условное геолого-геоморфологическое и литологическое деление весьма удобно и позволяет четко, особенно по литологическому составу, производить корреляцию слоев при грунтоэкологических изысканиях. Делювиальные покровные грунты разнообразного литологического состава распространены по склонам водоразделов и долин, в последнем случае погребая под собою древнеаллювиальные отложения

Озерно-болотные осадки имеют ограниченное распространение и выделяются по наличию иловых и заторфованных грунтов

Некоторые исследователи относят песчаные дюны по долинам рек Кильмезь, Иж, Кама и других к занровым отложениям, что вызывает возражения, так как явных следов оледенения в Удмуртии не обнаруживается Эти песчаные отложения, вероятнее всего, озерно-эолового и аллювиально-эолового происхождения Поскольку первичное их происхождение представляется неясным и проблематичным, а современные формы их залегания в виде дюн явно свидетельствуют о ветровой их переработке, то правильнее относить эти отложения к нерасчлененным эоловым

Непереотложенные флювеогляциальные и ледниковые отложения нами не обнаружены Причисляемые к ним песчано-глинистые осадки с большим количеством гальки и валунов, распространенных на склонах водоразделов на севере республики, считаются нами продуктами делювиально-пролювиальной переработки первичных отложений древних рек бассейна палеоКамы, залегающих выше по разрезу на водораздельных пространствах В пользу такого отнесения свидетельствует струйный характер размещения гальки и гравия среди песчано-глинистых осадков, залегающих на склонах водоразделов ниже террасовых останцев палеоКамы

Искусственные грунтовые образования.

К искусственным грунтам антропогенного или техногенного происхождения относятся насыпи, горные отвалы, грунты на поверхности городских территорий, существенно измененные по структуре и составу В Ижевске толщина таких грунтов может достигать до 10 и более метров в зависимости от рельефа

1.7. Подземные воды и их использование

В Удмуртии существуют все основные типы подземных вод артезианские (напорные), межпластовые, грунтовые и верховодка Для добычи грунтовых вод сооружают колодцы, скважины и горизонтальные лучевые водозаборы Для эксплуатации межпластовых вод устраиваются каптажи, скважины Добыча напорных вод осуществляется, в основном, при помощи скважин

Артезианские воды и образуемые ими бассейны можно без преувеличения назвать «царством подземных вод» Удмуртия входит в Волго-Камский артезианский бассейн, охватывающий бассейн Камы и среднее течение Волги Глубина бассейна достигает 1500-3000 м

Вода в артезианских бассейнах находится под постоянным давлением, напором, что позволяет ей в некоторых разрушенных и сильно трещиноватых участках изливаться на поверхность в виде восходящих родников и ключей, известных под названием «кипунов» Вода в них бурлит и клокочет, создавая впечатление кипящего котла Такие родники встречаются, например, в Якшур-Бодьинском районе Некоторые скважины при достижении напорного слоя фонтанируют Интересна в этом отношении скважина у деревни Пирогово. Здесь вода из скважины своим напором подается в сеть и далее в цистерну на высоту 2,5 м

Артезианские пресные воды в Удмуртии встречаются повсеместно, залегая ниже современного базиса эрозии на 30-50 м Примерно до уровня абсолютного нуля они пресные, ниже – минерализованные, а с глубины – 250-300 м переходят в рассолы Все артезианские воды приурочены к коренным отложениям верхней перми

Межпластовые воды отличаются от грунтовых тем, что они находятся между двумя выдержанными водоупорными пластами, обладают местным напором и залегают на 20-30 м выше и ниже базиса эрозии Питание их происходит не на всей площади распространения

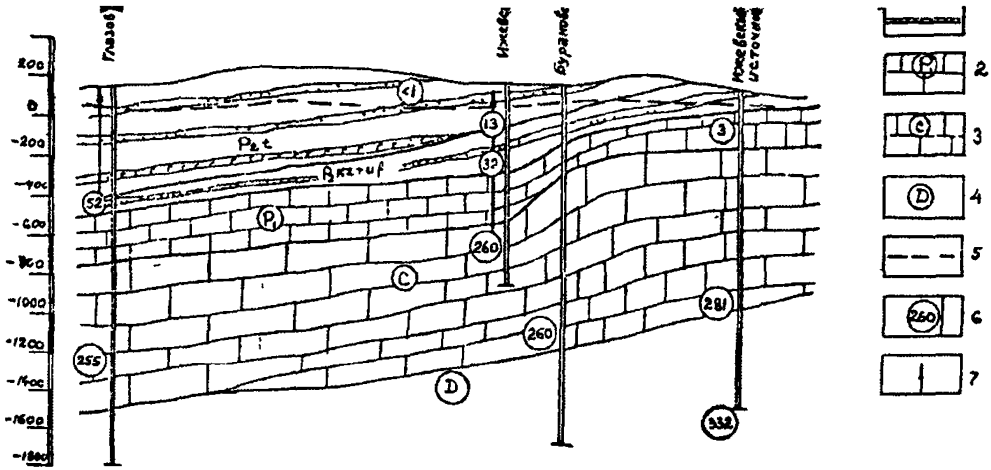


Рис 5 Гидрогеологический разрез по Удмуртии с севера на юг

1 – верхнепермские красноцветные песчано-глинистые отложения, 2 – нижнепермские известняки, ангидриты, 3 – каменноугольные известняки доломиты, ангидриты, 4 – девонские отложения, 5 – нижняя граница пресных вод, 6 – общая минерализация воды, г/л, 7 – пъезометрический напор

водоносного слоя, а только в месте выхода его на поверхность Межпластовые воды являются основными водоносными горизонтами, питающими современную гидрографическую сеть Сильная пересеченность Удмуртии способствует дренированию межпластовых вод в виде восходящих и нисходящих источников и родников Вода очень чистая и приятная на вкус Среднее количество солей от 0,2 до 0,5 г на 1 л Запасы межпластовых вод огромны, стабильны и непрерывно пополняются

Грунтовые воды – это воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, залегающего на первом более или менее выдержанном водонепроницаемом слое Наличие в Удмуртии обширных плоских равнин и понижений, а также долин крупных и мелких рек способствует формированию целых бассейнов грунтовых вод и заболачиванию отдельных участков в понижениях рельефа Грунтовые воды здесь гидрокарбанатно-кальциевого состава, в большинстве случаев неагрессивны по отношению к бетону В песчано-галечных отложениях речных долин грунтовые воды отличаются хорошей водообильностью, поэтому при устройстве заглубленных фундаментов и помещений требуется осушение и водопонижение

По химическому составу грунтовые воды приближаются к водам ближайших рек и водоемов и отличаются от них лишь чистотой и отсутствием болезнетворных микробов и бактерий Запасы грунтовых вод непрерывно изменяются при колебании уровня воды в реках, что подчеркивает тесную взаимосвязь и дренирующее влияние водотоков и водоемов

Воды северной зоны содержат небольшое количество минеральных солей и органических соединений Воды южной зоны более минерализованы, органических веществ почти не содержат На ровных местах при высоком стоянии грунтовых вод местность заболачивается Особенно это характерно для бассейна Кильмези, верхнего течения Ижа, среднего течения Чепцы, дренирующее влияние которых ослаблено из-за малых уклонов грунтового потока Чаще всего осложняет строительство возникновение верховодки в верхней части разреза в

песчаных и супесчаных грунтах четвертичного возраста, подстилаемых глинистыми отложениями Как правило, верховодка формируется на плоских недренированных участках

Зона пресных подземных вод в Удмуртии распространяетя примерно до глубины 100-300 м, включая грунтовые, межпластовые и артезианские воды Эта зона – огромный и неиссякаемый резервуар питьевых и хозяйственных вод, своеобразный регулятор питания рек и речек в засушливое и зимнее время года По предварительным подсчетам, объем пресной подземной воды в республике составляет около 60 млрд $м^3$

Если всю эту воду выкачать на поверхность, она покроет территорию Удмуртии метровым слоем Прогнозные ресурсы подземных вод составляют 3378,4 тыс $м^3$/сутки Утвержденные эксплуатационные запасы по 18 участкам месторождений составляют 118,1 тыс $м^3$/сутки, из них 76,8 тыс $м^3$/сутки предназначено для промышленного освоения Ежегодный отбор подземных вод за последние годы составляет около 60 млн $м^3$, что составляет 12% от общего водопотребления

Большое количество пресной подземной воды находится под окрестностями Ижевска Запасы ее превосходят Ижевский пруд, что для города должно иметь большое значение

Рациональное использование в качестве питьевой воды пресных подземных вод в Удмуртии должно стать перспективой развития водоснабжения Подземные воды нужно охранять от загрязнения и истощения уже сегодня, что не всегда соблюдается на деле, особенно в Ижевске

Минеральные воды.

Природные воды характеризуются большой растворяющей способностью Даже дождевая вода не является идеально чистой, так как на пути до поверхности земли она поглощает взвешенные в воздухе пыль и газы и выпадает до некоторой степени уже минерализованной Тем более это относится к подземным водам, протекающим по разнообразным горным породам Взаимодействие с окружающей средой изменяет их свойства и состав

Общее содержание веществ, растворенных в подземных водах, принято называть общей минерализацией воды В И Вернадский подразделил все природные воды, с точки зрения общей минерализации, на четыре больших класса

1) Пресные, с общей минерализацией до 1 г,
2) Солоноватые, с общей минерализацией от 1 до 10 г,
3) Соленые, с общей минерализацией от 10 до 50 г,
4) Рассолы (очень сильно минерализованные воды), с общей минерализацией больше 50 г/литр (до 200-300 г)

Минеральные воды, применяемые в лечебных целях, подразделяются по общей минерализации

1) Минерализованные, от 1 до 5 г/л,
2) Минеральные, от 5 до 35 г/л,
3) Рассольные, более 35 г/л

Разнообразие подземных вод, от пресных до минеральных и рассолов, позволяет широко их использовать как для нужд народного хозяйства, так и в лечебных целях. Примером такого использования является водоснабжение санатория «Металлург», где в одном месте пробурены несколько скважин на разные горизонты для получения вод разного состава и свойств, что позволило расширить базу санатория

Характеристика подземных вод санатория «Металлург» дана в табл 4 (в ней обобщены данные по пройденным скважинам), из которой следует, что при смешении вод нескольких горизонтов солевое содержание в воде может меняться Так, при объединении пресного слоя с минеральным общая минерализация снизилась до 2,6-4,1 г/л, что отмечено при откачке из скважин 3/75

В настоящее время минеральные воды и рассолы нашли лечебное применение во многих санаториях, например, в Варзи-Ятчи, Кизнере, Уве и др Имеется кратковременный опыт, в течение двух лет, использования минеральных вод для орошения в садоводческом кооперативе «Виктория», расположенном по соседству с Республиканской сельскохозяйственной выставкой

Для борьбы с гололедом авторами были успешно проведены эксперименты по применению «отработанных» рассолов санатория «Металлург» вместо смеси песка и соли

Таблица 4

Абсолютная отметка подошвы, м	Описание пород, возраст	Тип вод, глубина залегания в абсолютных отметках, м	Уровень воды в абсолютных отметках, м	Формула химического состава	Применение, приток, м^3/час
+52	Переслаивание изоглин, алевритов, песчанников	Пресная, гидрокарбонатная, 70-52 м	+123	$M_{0,35}\frac{HCO_3 358}{-}$	Для хозяйственно-питьевых нужд, Q=6
+35	Переслаивание глин, мергелей, алевритов				
-2	Песчанники, алевриты	Минерализованная, хлоридно-натриевая, около 0 м	+121	$M_{2,6}\frac{Cl0{,}8, HCO_3 0{,}13}{(Na+K)0{,}72, Ca0{,}18}$	Не используется, Q=6
-42	Аргиллиты, алевриты				
-64	Песчанники	Минеральная, хлоридно-натриевая, минус 52-80 м	+95	$M_{12}\frac{Cl79, SO_4 20}{(Na+K)84, Ca10}$	Для лечения желудочно-кишечного тракта, Q=11
-302	Переслаивание аргиллитов, песчанников, алевритов				
-350	Известняки, доломиты	Рассол хлоридно-натриевый	+124	$M_{132}\frac{Cl99}{(Na+K)51, Ca26}$	Приток непромышленный
-525	Известняки, доломиты, гипсы, с запахом сероводорода	Рассол хлоридно-натриевый	+151	$M_{160}\frac{Cl99, H_2S45}{(Na+K)69, Ca19}$	То же
-669	Доломиты, известняки, ангидриты	Рассол хлоридно-натриевый, сероводородный, йодо-бромный, минус 307-647 м	+151	$M_{261}\frac{Cl100, H_2S293, J16}{(Na+K)69, Br710}$	Для бальнеологических целей, Q=1
-767	Известняки, доломиты, с запахом сероводорода	То же, минус 787 м	+125	$M_{255}\frac{Cl99, H_2S100, J14}{(Na+K)75, Br554}$	Для бальнеологических целей, Q=3
-868	Доломиты, известняки, ангидриты	То же	+126	$M_{255}\frac{Cl99, H_2S154, J5}{Br741}$	То же, Q=2,1

Использование пресных подземных вод.

Подземные воды всегда были высококачественными источниками водоснабжения Ижевска. Использовались все нисходящие источники межпластовых вод по коренным склонам долины рек Иж, Карлутка, Подборенка. Для этого устраивались как простейшие каптажные системы, так и водозаборные сооружения для централизованного водоснабжения. К числу последних относится водозабор, состоящий из дрен, резервуара чистой воды и насосной станции первого подъема, расположенный на коренном склоне реки Карлутка в «Козьем парке». Этот водозабор обеспечивал водой жителей района «Культбаза» в 70-х годах, но был заброшен, и сейчас все его сооружения находятся в захламленном состоянии. Вместо водозабора сооружен двухрожковый бювет со свободным сливом в загрязненную Карлутку около 500 м^3 чистейшей воды в сутки.

Заброшен также кустовый водозабор из четырех скважин, сооруженный в начале 70-х годов. для обеспечения водой при пуске первой очереди завода «Буммаш».

Выведена из строя самая глубокая водозаборная скважина (163 м) на территории краеведческого музея. А она могла бы удовлетворять нужды центра города в питьевой воде и служила бы резервным источником на случай ЧП.

В 1998 году без достаточных оснований ликвидированы водозаборная скважина и водораспределительное устройство при ней на улице Камской. Пострадали от этого местные жители и ученики расположенной рядом школы, которые лишились качественной питьевой воды.

Загрязнен и заброшен источник водоснабжения у «Общества слепых», в бюветную часть которого нынче направлен трубопровод сточных вод.

Возле «Важнина ключа», примерно в 150 м выше по склону, во второй санитарной зоне строятся канализационные емкости. Здесь на месте туалетов бывшего пионерского лагеря строят гостевой дом, а на месте спальных корпусов – упомянутые емкости. Но если туалеты были в стороне и стоки не попадали в сторону ключа, то новые выгребные емкости расположены строго по склону над каптажными системами «Важнина ключа».

Все эти факты являются свидетельством пренебрежения и попустительства экологических и санитарных служб в соблюдении норм использования подземных вод.

В ансамбле монумента «Дружба народов» все подземные водоисточники были скрыты под бетонными и земляными сооружениями спуска к пруду, что придало ему «пустынный» вид, не соответствующий уникальной природе нашего родникового края.

Заброшен и перестал действовать единственный в городе фонтан круглогодичного действия, питающийся подземными водами и расположенный на набережной пруда у Индустриального техникума.

Полезно сопоставить объемы поставляемой в конце XX века подземной воды в городах республики: Ижевск – 4,4/1,06; Сарапул – 15,8/0,63; Воткинск – 72,1/2,7; Глазов – 156/6,03; Можга – 228/4,0, где в числителе дана подача воды в литрах в сутки на жителя, а в знаменателе – общее годовое количество подаваемой подземной воды в миллионах кубометров.

Из сопоставления видно, что в Глазове, численность населения которого в 6 раз меньше, потребляется больше подземной воды, чем в Ижевске. А на душу населения подается 156 л в сутки подземной воды. В Ижевске задача по снабжению населения подземной питьевой водой до настоящего времени не ставилась, наоборот, как свидетельствуют приведенные факты, от использования подземных вод старались избавиться.

Авторы неоднократно предлагали внести изменения в схему водоснабжения Ижевска путем введения дополнительных (резервных) водозаборов для отбора подземных вод, основываясь на особенностях гидрогеологического строения, сложившейся схемы

водоотбора, достижениях мирового опыта и с учетом собственных научных разработок Так, в республиканской печати опубликованы предложения о путях добычи подземных вод (см газету «Удмуртская правда» от 15 07 59, 21 04 87 и др), но все они были проигнорированы в угоду сооружению фабрики «чистой» воды, обеспечивающей крупное освоение средств

Уместно также привести данные из мирового опыта (см табл 5) Например, в Венгрии все питьевое водоснабжение основано на использовании подземных вод А вот как выглядят затраты на капитальное строительство и эксплуатацию водозаборов

Таблица 5

Страна	Год сопоставления	Стоимость в тыс руб и национальных валютах			
		Строительство водозаборов		Эксплуатация	
		Поверхн	Подземн	Поверхн	Подземн
СССР (Воткинск)	1975-1980	1200	200-260	-	-
США	1975-1980	-	-	0,4-0,8	0,2-0,6
Польша	1970	5100	1500-2500	1,7-2,0	0,5-0,7

Следовательно, экономические данные зарубежных стран также свидетельствуют в пользу использования подземных вод

Для перевода водоснабжения населения Ижевска с поверхностных на подземные воды необходимо создать как локальные, так и централизованные системы подземных водозаборов

Предлагается бурение одной-двух водозаборных скважин в местах большого сосредоточения малообеспеченного населения (инвалидов, школьников, студентов) Это, в первую очередь, должно осуществиться в зоне расположения ИжГТУ – ИжГСХА – госпиталь – школа №9, а также для снабжения водой района УдГУ – УГМА – стадион «Зенит» – Ледовый дворец и др

Необходимо создание отдельных кустовых водозаборов подземных вод для обеспечения водой населения Октябрьского, Индустриального, Устиновского и Ленинского районов Для Первомайского района, в рекреационно-санаторных предместьях которого размещены канализационные очистные сооружения и полигон ТБО, налаживание такого водозабора пока проблематично

Следует поэтапно соорудить 3-4 подземных горизонтально-лучевых подрусловых водозабора в местах пересечения реки Сива с магистральным водоводом из Воткинского водохранилища и на островах реки Кама, там где в нее впадает Сива и у деревни Докша Эти водозаборы, по предварительной оценке, способны в сумме дать 250-300 тыс м^3 инфильтрационной воды в сутки, т е полностью обеспечить потребность Ижевска в воде Создание таких водозаборов позволит получать более качественную воду, значительно сократит длину магистрального водовода, обеспечит создание резервных мощностей и будет гарантировать устойчивое водоснабжение на случай чрезвычайных ситуаций

Ориентация на подземные воды соответствует мировым тенденциям и значительно сократит риск от попадания загрязнений в систему водоснабжения Опыт эксплуатации инфильтрационных водозаборов имеется Например, в Сарапуле на острове Зеленый существовал такой водозабор, дававший 18 тыс м^3 чистой воды в сутки Его закрыли из-за угрозы ожидавшегося затопления острова Нижне-Камским водохранилищем Альтернативный вариант подруслового водозабора с горизонтальными лучами-фильтрами позволил бы получать инфильтрационные воды в условиях затопления в значительно больших объемах до 50 тыс м^3 в сутки Но этот проект не был реализован из-за косности чиновников, несмотря на его дешевизну

Горизонтальный лучевой водозабор смог бы обеспечить качественной водой город Камбарку, где есть угроза загрязнения от хранения и уничтожения имеющихся там отравляющих веществ

1.8. Неблагоприятные грунтоэкологические явления

Из неблагоприятных грунтоэкологических явлений в Удмуртии проявляются следующие оползни, оплывины и суффозия по долинам рек, особенно на склонах и по берегам, берегоразрушение и подтопление, ведущее к заболачиванию В наибольшей степени проявляются негативные последствия морозного пучения в покровных супесях, особенно на участках, подверженных переувлажнению, влияющему на устойчивость фундаментов зданий и сооружений

При застройке больших площадей в долинах рек и на пологих склонах долин, вследствие планировочных работ, асфальтирования и устройства многочисленных коммуникаций, по которым происходят утечки воды, создаются условия для подъема уровня грунтовых вод и ослабления прочностных свойств грунтов Эти факторы, а также наличие здесь заболоченных площадей требуют осуществления специальных мер инженерной подготовки территории

По долинам крупных рек встречаются участки, где залегают пылеватые и мелкозернистые пески, обладающие плывунными свойствами и затрудняющие производство земляных работ

Наибольшую опасность представляют погребенные овраги в коренных верхнепермских отложениях, заполненные слабыми четвертичными осадками пролювиально-делювиального и озерно-болотного происхождения Размеры их на коренных склонах относительно невелики 20÷50 по верху и 2÷10 и более метров глубиной В зданиях, расположенных над ними, из-за различной плотности и прочности грунтов в бортах и заполненном русле, наблюдаются большие осадки отдельных частей зданий и возникают недопустимые деформации фундаментов Аналогичные явления отмечаются на участках перехода древних погребенных долин современных рек и речек в коренной склон, где поверхность коренных отложений круто погружается под толщу слабых аллювиально-делювиальных четвертичных отложений Участки погребенных долин и оврагов с поверхности могут не иметь значительных перепадов высот, чаще они бывают снивелированы и создают ложное впечатление однородности площадки

В южных районах, вблизи от давно ликвидированных Бемыжского и Варзи-Алексеевского медеплавильных заводов, могут отмечаться провалы над заброшенными подземными выработками, оставшимися после извлечения медистых песчаников Аналогичная ситуация уже наблюдалась в Перми

Просадочных явлений в грунтах Удмуртии не отмечалось По комплексу определений близкие к просадочным делювиальные макропористые суглинки южных районов республики могут быть только условно отнесены к просадочным Однако этот вопрос требует дальнейшего углубленного изучения Здесь же только отметим, что большинство деформаций зданий приходится на макропористые делювиальные суглинки, которые способны значительно уменьшать свою прочность при увеличении влажности в локальных зонах Эта особенность делает их близкими к просадочным грунтам, но по совокупности всех признаков их нельзя отождествлять с просадочными грунтами, так как все они неоднократно претерпевали увлажнение до $G > 0,8$ Этому благоприятствует и достаточное количество осадков, формирование верховодки в весеннее время, постепенное опускающееся до постоянного уровня грунтовых вод

В южных, в основном безлесных, районах развита овражная эрозия Доля заовраженных земель здесь составляет 41%, при этом объем размытой земли достигает 300 тыс $м^3$ и выносится на пойменные луга и в водоемы, вызывая их обмеление [28]

Интенсивная вырубка лесов привела к ускоренному таянию снега А это, в свою очередь, привело к уменьшению сроков питания подземных вод и увеличению объемов воды в половодье, вызывая наводнения

Широтное и меридиональное направление городских улиц и непомерное асфальтирование, включая отмостки вокруг зданий, увеличили интенсивность сброса ливневых и талых вод, особенно на крутых склонах Это приводит к смыву почв, шлака и песка, рассыпаемых зимой на дорогах, к разрушению дорожного покрытия, перегрузке и закупорке ливневой канализации, к росту донных наносов в городских реках и речках, особенно в Ижевске

Увлечение штукатуркой и покраской фасадов, которые в нашей климатической зоне интенсивно разрушаются, также ведет к загрязнению грунтов и подземных вод

Почти повсеместное устройство подвалов, нередко затопляемых, способствует загрязнению поземных вод и ослаблению грунтовых оснований, вызывая деформации зданий

К числу уникальных явлений, связанных, возможно, с космогеническими факторами, относятся периодические засухи и высыхание грунтов А это, в свою очередь, приводило к обмелению Ижевского пруда, которое приобретало катастрофические размеры в 1839-1840 и 1976-1977 годах, за шесть лет до одностороннего расположения планет солнечной системы Так, в засушливое лето 1976 года Ижевский пруд сильно обмелел и подпитывался камской водой, а грунт в верхней части был настолько сух, что при малейшем механическом воздействии превращался в пыль

По данным Ижевского ГИГУ, в Республике выявлено 18 очагов загрязнения подземных вод техногенного характера это Киенгопское, Мишкинское и Гремихинское месторождения нефти, шлаконакопитель п/о «Ижсталь», полигон захоронения отходов завода пластмасс, иловые площадки канализации г Ижевска, территории Октябрьского и Первомайского районов г Ижевска, ферма КРС в деревне Смирново (с/з «Машиностроитель»), хвостохранилище АО «ЧМЗ» г Глазова, стеклозавод в поселке «Факел», полигон ТБО г Сарапула, свинокомплекс «Якшурский» (Як-Бодинский район), водозабор пос Кама и нефтебаза пос Камский (Камбарский район), водозабор в поселке Березовка, г Воткинск, одиночные водозаборы в поселке Ува и селе Каракулино

Основными загрязняющими компонентами являются нефтепродукты, хлориды, нитраты, оксиды и тяжелые металлы Групповые водозаборы в г Можга и пос Кез характеризуются повышенным содержанием в воде бора естественного происхождения

Нерешенными остаются проблемы водообеспечения населения доброкачественной питьевой водой В 1994 году не соответствовало техническим нормативам 23,4% проб воды из источников централизованного питьевого водоснабжения по санитарно-химическим показателям и 8,4% проб – по микробиологическим показателям

В Удмуртии устроено несколько подземных газохранилищ и захоронений промотходов (г Глазов) Степень их влияния на загрязнение подземных вод до конца не изучена В Глазове отмечено попадание радионуклидов в подземные воды

На формирование неблагоприятных грунтоэкологических условий, связанных с антропогенным или техногенным загрязнением, влияют градостроительные решения Так, застройка жилого района «Пазелы» несет прямую угрозу загрязнения Ижевского пруда, его поглощения чревом города Полигон ТБО на 31 км Ныльгинского тракта и проектируемый комплекс переработки промотходов «Колумбия» располагаются на водоразделах, сложенных хорошо проницаемыми грунтами Это будет способствовать расширенному распространению загрязнений грунтовой и водной среды, как и в случае с городскими канализационными очистными сооружениями на возвышенной Медведевской гряде (левый берег в месте слияния Ижа и Позими)

Грунтовые воды в основном не агрессивны к строительным конструкциям, но на отдельных заболоченных участках они могут обладать тем или иным видом агрессивности

Глава II. СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ, ИХ РЕГИОНАЛЬНАЯ НОМЕНКЛАТУРА

2.1. Общие сведения о грунтах и их характеристики

Определение термина «грунт» дано в СНиП (Термины и определения) и ГОСТ 25100-82 Под грунтами понимаются все естественные отложения и искусственные образования земной коры, являющиеся объектом строительно-хозяйственной деятельности людей

СНиП рекомендует определение физико-механических характеристик грунта Эти природные характеристики, определяемые, в частности, полевыми методами исследования, объединяются Ю Г Трофименковым в группу «строительных свойств грунтов»

В целом грунты систематизируются по отраслевым оценкам, природным и частным свойствам, включая особые (см рис 6)

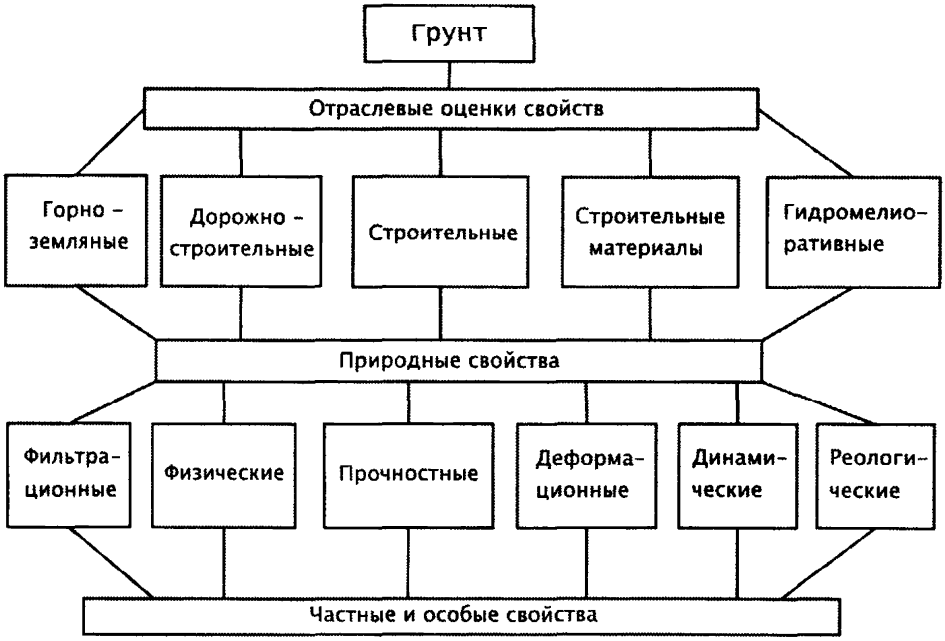


Рис 6 Схема свойств грунтов

Грунты подразделяются на скальные, полускальные и нескальные Скальные грунты залегают крупными массивами, добываются с применением взрывных работ, являются самыми прочными основаниями и подразделяются по величине временного сопротивления одноосному сжатию $R_0 > 5$ *МПа*

В строительной практике чаще всего приходится использовать нескальные грунты (крупнообломочные, песчаные, глинистые и органогенные), которые обладают большим разнообразием свойств Эти грунты требуют более тщательного и всестороннего изучения Подробнее о показателях (характеристиках) нескальных грунтов будет говориться в главе III

В Удмуртии распространены в основном нескальные (глинистые и песчаные) и полускальные грунты, обладающие, особенно глинистые, большим разнообразием свойств и дисперсностью, а потому требующие более тщательного и всестороннего изучения

Дисперсный грунт состоит из трех основных компонентов минеральных частиц (иногда в смеси с органическими веществами), воды (в различных видах и состояниях), растворенных в воде и свободных газов Соотношения между основными компонентами не являются постоянными и характеризуют фазовое состояние, где главная роль в изменении прочностных свойств принадлежит воде

Соотношение основных компонентов грунта между собою и механизм их взаимодействия детально описаны в грунтоведении Однако они требуют некоторого переосмысления и создания новой схемы, более приближенной к запросам строительства Такая схема разработана в предположении, что размеры водных оболочек вокруг минеральных частиц, а главное, границы их раздела соответствуют точкам перегиба кривой изменения влажности в зависимости от величины действующего давления Это изменение не противоречит известным признакам классификации связанной воды и может быть проверено экспериментально [12] и, что более важно, делает схему понятной строителям, знакомым с поведением грунта при изменении давления

Минеральная частица грунта в результате электромолекулярных сил взаимодействия притягивает диполи воды к своей отрицательно заряженной поверхности, образуя три резко отличные по свойствам водные оболочки

Самые близкие к минеральной частице 1-3 ряда молекул воды образуют оболочку прочно связанной воды, которая не может быть удалена давлением при уплотнении грунта, но удаляется сушкой Максимальное количество воды, которое способны удержать молекулярные силы притяжения в условиях сжатия, называется максимальной молекулярной влагоемкостью, близкой к влажности на границе раскатывания (нижний предел пластичности) Эта же влажность, при которой достигается наилучшее уплотнение грунта, соответствует нижней границе прочного состояния (см рис 7)

Следующая оболочка рыхло связанной воды обладает меньшей силой молекулярного взаимодействия и удаляется статическим давлением до 0,2-1,0 МПа Вода этой оболочки формирует влажность глинистых грунтов в пределах от максимальной молекулярной влагоемкости до границы текучести (верхний предел пластичности) При наличии этой оболочки глинистый грунт находится в прочном состоянии или состоянии средней прочности

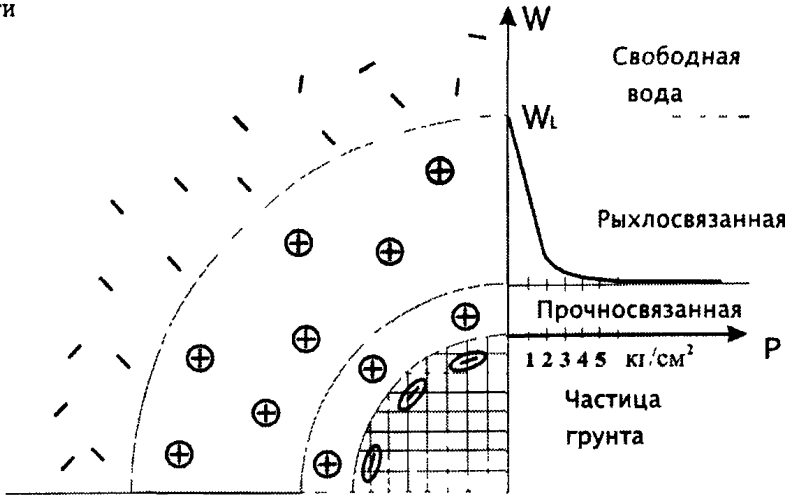


Рис 7 Схема молекулярного взаимодействия в системе "минеральная частица–вода"

Вода вне поля молекулярного притяжения может свободно перемещаться и иметь живую и газовую компоненты, образуя свободную водно-био-газовую оболочку, заполняющую пустоты между твердыми частицами

При наличии свободной воды (капиллярной или гравитационной) глинистый грунт переходит в слабое или очень слабое состояние

Из предложенной схемы следует, что свойства грунта и его характеристики зависят от размеров частиц, содержания воды и действующего напряжения

Свойства грунта – это определенная совокупность его отличительных признаков поведения и изменения основных компонентов состава и состояния под влиянием внешних и внутренних факторов Свойства грунта выражаются через совокупность характеристик (показателей)

Характеристика грунта – это отличительный признак состава или состояния грунта в целом или его компонентов Характеристики определяются измерением параметров грунта или расчетом по результатам измерений (см главу III)

Характеристики видового деления грунтов, выражающие частные признаки свойств, подразделяются на прямые, производные и косвенные – по методам их получения

Прямые характеристики – это показатели, определяемые непосредственными измерениями одного или нескольких параметров Точность их определения зависит от точности измерений

Производные показатели – это характеристики, находимые расчетным путем, исходя из принятых теоретических или эмпирических положений Точность их определения зависит от метода расчета и точности измерения прямых показателей

Косвенные характеристики – безразмерные показатели, устанавливаемые на основании эмпирических связей между параметрами грунта, различными по размерности или сути.

Физические свойства и показатели.

Физические свойства выражают типичные особенности и устанавливаются по отличительным признакам состава и состояния через физические характеристики

К основным физическим характеристикам относятся. естественная (природная) плотность – ρ, плотность твердых частиц – ρ_s, плотность скелета – ρ_d, влажность – W, пористость – n, зерновой состав, число пластичности – J_p, сопротивление отрыву (липкость) – θ В зависимости от отраслевых требований сюда же относят показатели водопроницаемости, теплопроводности, электропроводности и т п

Некоторые исследователи к физическим характеристикам причисляют показатель консистенции, который заменен показателем прочности, выраженным через сопротивление прониканию конуса V, и отнесен к прочностным характеристикам.

Прочностные свойства и показатели.

Прочностные свойства выражают способность грунтов противостоять внешним и внутренним воздействиям вплоть до предельного состояния и разрушения

К прямым характеристикам прочности грунта относятся сопротивление одноосному сжатию σ_c, раздвиг V, распор P_q, сопротивления под острием сваи R и по боковой поверхности f, сопротивление вращательному срезу τ_r, плоскому сдвигу τ и др

Величины R и f, если они находятся не по прямым испытаниям сваи, а по раздвигу или по распору, относятся к производным

Производные характеристики крепость скальных грунтов, прочность глинистых и плотность песчаных, сцепление c, угол внутреннего трения φ и др

К косвенным характеристикам следует относить показатель текучести (консистенции) Исходя из отраслевых требований, к косвенным характеристикам могут быть отнесены коэффициенты размягчаемости, разрыхления и др

Все перечисленные характеристики, кроме показателя текучести, определяют по результатам испытаний непосредственно наконечниками или в комплексе с другими методами

Деформационные свойства и показатели.

Деформационные свойства грунта выражают его способность уплотняться в результате уменьшения объема пор и переупаковки частиц под влиянием внешних и внутренних воздействий

К прямым показателям деформационных свойств относятся осадки образца, монолита, целика и т п

Производными характеристиками деформационных свойств являются модуль осадки l, предложенный Н Н Масловым, коэффициент бокового давления ξ, относительная просадочность δ, модуль деформации E и др

Косвенные характеристики коэффициент относительной сжимаемости m_v, коэффициент консолидации C_z и др

Динамические свойства и показатели.

Динамические свойства грунтов зависят от вида и состояния оснований, вида и интенсивности динамических воздействий Они характеризуют способность грунтов давать дополнительную осадку фундаментов под оборудованием и под соседними фундаментами от влияния динамических нагрузок

К прямым характеристикам динамических свойств относятся скорость распространения продольных и поперечных волн, амплитуды колебаний и динамическая осадка

Важными производными характеристиками являются коэффициенты упругого равномерного сжатия C_z, жесткости K_z, относительного демпфирования ζ_z и др Характеристики K_z и ζ_z можно отнести также к косвенным

Реологические свойства и характеристики.

Свойства грунта накапливать деформации ползучести и релаксировать, т е снижать напряжение, при длительном действии на него нагрузки называются реологическими

Различают следующие реологические характеристики грунта мгновенную прочность σ_0 и длительную прочность σ

По заданному начальному перемещению сферического зонда, начальным и затухающим во времени контактным напряжениям вокруг цилиндрического наконечника В И Ферронский и З Г Тер-Мартиросян теоретически обосновали возможность определения модулей мгновенной E_M и длительной $E_Д$ деформации и параметра ползучести η Характеристики E_M и $E_Д$ являются производными, параметр η следует считать косвенным К косвенным параметрам можно также относить коэффициент ядра ползучести δ и коэффициент затухания ползучести δ_l

Н Н Маслов рекомендует для прогноза процесса ползучести определять коэффициент вязкости $\eta_в$ испытанием по методу «тяжелого шарика», разработанному З М Карауловой

Прочностные, деформационные, динамические и реологические свойства иногда объединяют в группу механических свойств

2.2. Классификация грунтов

Скальный и полускальный грунт.

Скальные грунты по ГОСТу 25100-95 подразделяются на разновидности по временному сопротивлению одноосному сжатию (см табл 6)

Деление по точечному приложению нагрузки в таблице 6 принято по классификации З Т Бенявского, в пересчете на сопротивление проникания конуса, скорректированном на

Таблица 6

Разновидности скальных пород по крепости (прочности)	Временное сопротивление МПа (10 кг/см^2)	
	одноосному сжатию R_c	точечному приложению нагрузки P_0
Очень твердые (прочные)	> 120	> 5
Твердые (прочные)	50 - 120	2 – 5
Средней твердости (прочности)	15 - 50	1 – 2
Малой твердости (прочности)	5-15	< 1

значения R_C по СНиП К скальным грунтам (породам) наиболее приемлемы термины определения «твердые» или «крепкие»

Полускальные грунты выделяются по двум пределам временному сопротивлению одноосному сжатию или раздавливанию (по Г А Сулакшиной) в пределах 1,5-5,0 МПа и величине раздвига конусом V_1 грунта, доведенного до водонасыщенного состояния (более 0,6 МПа) Если последняя величина будет меньше 0,6 МПа, то грунт следует относить к нескальным При таком разделении легко выделяются грунты с временно приобретенными при высыхании прочностными связями, которые при замачивании исчезают Так, например, по И М Горьковой, прочность лессов при замачивании снижалась в 300-900 раз, тогда как мел средней степени уплотнения ослабевал только в два раза

Предложенное уточнение нижней границы полускальных грунтов, отделяющей их от нескальных, особенно важно для районов, где кроме покровных четвертичных отложений развиты коренные осадочные породы более древнего возраста, которые обладают цементационными связями, не разрушающимися при замачивании, например, мергелистые глины и алевриты, слабосцементированные песчаники верхнепремских отложений Удмуртии

Нескальные грунты.

К нескальным грунтам относятся крупнообломочные, песчаные и глинистые отложения

Крупнообломочные и песчаные грунты в зависимости от зернового состава подразделяются на виды согласно таблице 7

Таблица 7

Виды крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности в % от веса воздушно-сухого грунта
А. Крупнообломочные	
Валунный грунт - окатанный, глыбовый-неокатанный	Вес частиц крупнее 200 мм составляет более 50%
Галечниковый - окатанный, щебенистый - неокатанный	Вес частиц крупнее 10 мм составляет более 50%
Гравийный - окатанный, дресвяный - неокатанный	Вес частиц крупнее 2 мм составляет более 50%
Б. Песчаные	
Песок гравелистый	Вес частиц крупнее 2 мм составляет более 25%
Песок крупный	Вес частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50%
Песок средней крупности	Вес частиц крупнее 0,25 мм составляет более 50%
Песок мелкий	Вес частиц крупнее 0,1 мм составляет 75% и более
Песок пылеватый	Вес частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

В таблице 7 наименование грунта определяется суммой процентов содержания более крупных частиц грунта, по первому удовлетворяющему признаку Например, если вес частиц крупнее 0,5 мм более 50%, а вес частиц крупнее 2 мм составляет менее 25%, то исследуемый грунт – песок крупный

При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общего веса в наименовании грунта должны приводиться сведения о заполнителе

По величине сопротивления погружению (распора) согласно СНиПам определяется плотность песчаных грунтов (таблица 8)

Таблица 8

Виды песков	Значения распора для определения плотности сложения песков, Pq, МПа (10 кг/см^2)		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески крупные и средней крупности независимо от влажности	> 15,0	5,0 – 15,0	< 5,0
Пески мелкие независимо от влажности	> 12,0	4,0 – 12,0	< 4,0
Пески пылеватые			
а) маловлажные и влажные	> 10,0	3,0 – 10,0	< 3,0
б) водонасыщенные	> 7,0	2,0 – 7,0	< 2,0

Глинистые грунты в состоянии «на границе текучести» по сопротивлению отрыва от него полушарового наконечника (по липкости) θ и по числу пластичности (дисперсности) подразделяются на разновидности по таблице 9

Таблица 9

Разновидности песчано-глинистых грунтов	Число пластичности (*дисперсности*) J_P	Содержание глинистых частиц J, %	Липкость на границе текучести θ, г/см^2 (0,1 КПа)
Песок	< 1	< 3	< 2,0
Супесь	1 – 7	3 – 10	2,0 – 5,0
Суглинок	7 – 17	10 – 30	5,0 – 10,0
Глина	> 17	> 30	>10

В таблице 9 содержание глинистых частиц дано по классификации Н А Цытовича, сопротивление отрыву θ дано в единицах весового измерения г/см^2, так как приборов с градуировкой в Па в нашей стране не выпускается (см главу III)

По СНиП число пластичности дается в сотых долях в отличие от прежних норм, где число пластичности давалось в целых единицах, более удобных в употреблении Поэтому нами сохранено деление в целых единицах

Здесь рассмотрено наименование грунтов по классификационным показателям, полное же наименование следует давать по СНиП с учетом прочностного состояния по таблице 10

По прочности (консистенции) глинистые грунты точнее и удобнее подразделять по величине раздвига V_1 конусом 30^0 в кг/см^2 (см таблицу 10 и главу IV)

Таблица 10

По консистенции	Раздвиг V_1, кг/см^2 (0,1 МПа)	По прочности	Оценочное сопротивление грунта R_0, кг/см^2 (0,1 МПа)
Текучие	< 0,1	Очень слабые	**< 0,5**
Текучепластичные	0,1 – 0,2		
Мягкопластичные	0,2 – 0,4	Слабые	0,5 – 1,0
Тугопластичные	0,4 – 1,0	Средней прочности	1,0 – 2,5
Полутвердые	1,0 – 2,0	Прочные	2,5 – 5,0
Твердые	> 2,0	Очень прочные	> 5,0

Нормы СНиП допускают введение дополнительного подразделения грунтов с учетом региональных грунтовых особенностей Это в первую очередь относится к широко распространенным в Удмуртии и сопредельных районах коренным грунтам татарского и казанского ярусов верхней перми, физико-механические (прочностные) свойства которых существенно отличаются от нормативных

Кроме выделенных коренных отложений, особое промежуточное положение занимают элювиальные образования, являющиеся продуктами химического и физического выветривания коренных пород верхней перми и оставшиеся на месте своего первоначального залегания По внешним признакам они мало отличаются от материнских, как правило, коренных пород, но по прочностным свойствам имеют существенные отличия в сторону их ухудшения Так, для элювиальных образований, этой своеобразной коры выветривания, характерно параболическое изменение с глубиной состояния от среднего по прочности до прочного Такая закономерность установлена, в частности, при пересчете результатов статистической обработки консистенции по 207 пробам грунта из верхней части разреза элювиальных и верхнепермских глинистых отложений города Ижевска Мощность элювия переменна и достигает максимальной величины 5-6 м по склонам и долинам, уменьшаясь до минимума на водоразделах Средняя же мощность его составляет 3,5 м Графически эта закономерность изображена на рис. 8

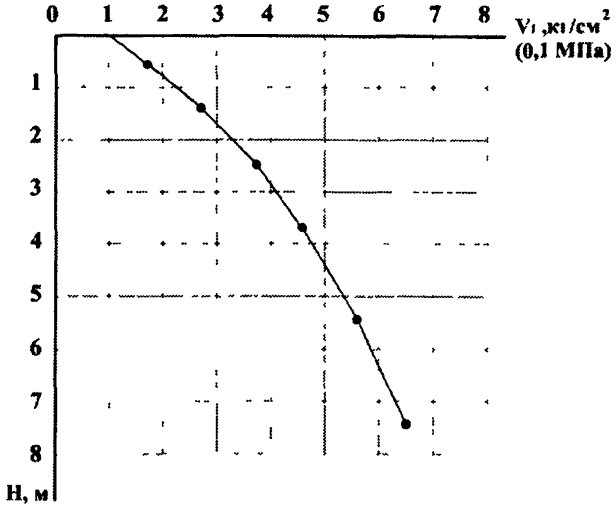


Рис 8 Изменение прочности верхнепермских изоглин с глубиной по величине раздвига V_1

Аналогичная закономерность перехода элювия в коренные верхнепермские изоглины подтверждается также среднеарифметическими данными зондирования (см рис 9) на водоразделах (22 испытания), склонах (30 испытаний) и по долинам рек (7 испытаний) По этим данным, кора выветривания верхнепермских глин также достигает в среднем 3-4 м, но величина сопротивления погружению P_q на глубине более 3-4 м в долинах и на водоразделах различна Так в первом случае она составляет в среднем 6,0, а во втором – более 12 МПа, что объясняется обводнением грунтов в первом и сухим дренированным состоянием во втором случае

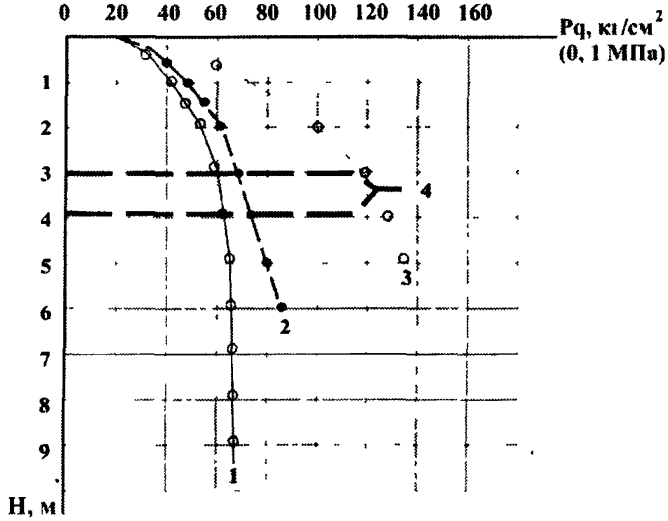


Рис 9 Графики изменения средних значений распора P_q при погружении конуса в кровлю верхнепермских глинистых отложений
1 – испытания в долинах, 2 – испытания по склонам,
3 – испытания на водоразделах, 4 – границы коры выветривания

Верхнепермские глинистые отложения, в отличие от элювия и четвертичных осадков, характеризуются крупнокомковатым строением и постоянством прочностного состояния (очень прочные) Исключение составляют лишь глинистые грунты, залегающие над водоносными горизонтами, где отмечается увеличенная влажность по трещинам отдельности, которая при механическом перемятии образцов способствует переводу их в слабое состояние В условиях же природного залегания внутренние по отношению к трещинам части комочков остаются очень прочными

К настоящему времени накоплен большой фактический материал о физико-механических свойствах пород верхней перми Это позволяет дать классификацию глинистых грунтов верхней перми, обладающих рядом особенностей Так, коренные глинистые породы, в отличие от четвертичных, следует подразделять на виды согласно таблице 11

В таблице 11 «изоглина», в отличие от глин четвертичного возраста (более слабых), имеет приставку «изо», что на удмуртском языке означает «каменистая», а на греческом – «равная», «подобная»

Выделенные в таблице 11 разности отличаются высокой структурной прочностью, не изменяющейся существенно при увлажнении в условиях естественного залегания, и относятся к полускальным грунтами по классификации Г А Сулакшиной

Таблица 11

Наименование видов глинистых пород	Число пластичности *Jp*	Размокаемость в воде	Раздвиг V_1, кг/см^2 (0,1 МПа)
Алеврит	$1 < J_p < 17$	Размокает слабо	> 2
Алевролит	Не определяется	Не размокает	> 6
Изоглина (изосюй)	$J_p > 17$	Размокает слабо	> 2
Мергель, мергелистые глины (вумус)	Не определяется	Не размокает	> 6

Алевриты – коренные суглинки и супеси – имеют, как правило, красно-бурый и коричневый цвет Они прочные, слабосцементированные, в целике не размокают и залегают в виде прослоев среди очень прочных изоглин

Алевролиты – сцементированные полускальные разности алевритов

Изоглины («изосюй» – по удмуртски), в воде не размокают, обычно имеют яркую красно-бурую окраску, комковатые, очень прочные, аргиллитоподобные

Мергели и мергелистые глины («вумус» – по удмуртски) преимущественно красного и бурого цвета, крупнокомковатые, бурно вскипают в *HCl*, в воде не размокают, очень прочны и могут относиться к полускальным грунтам

Песчаные отложения верхней перми представлены в основном слабосцементированными, мелкозернистыми и пылеватыми (с чешуйками слюды) песчаниками на глинистом цементе, разрушающемся при механическом воздействии до состояния песков, сохраняющими структурную прочность и вертикальные стенки продолжительное время (десятилетиями) в котлованах и обнажениях *Не рекомендуется такую породу именовать песком, даже если она близка по пористости к рыхлому состоянию,* потому что такое отнесение отождествляет их с песками четвертичных отложений, отличающихся меньшей прочностью Крепкие и средней крепости песчаники на известково-гипсовом цементе встречаются реже в виде отдельных прослоев или различной величины окатышей среди слабоцементированных песчаников с глинистым цементом Преобладающий цвет песчаников желто-бурый

Элювий песчаников – пески по внешнему виду мало или почти неотличимы от коренных отложений, но выделяются своими пониженными прочностными свойствами, например, по сопротивлению погружению конуса Такое отличие по данным 38 зондирований в г Ижевске и других городах позволяет относить к элювию песчаников отложения с *сопротивлением погружению* $Pq < 8{,}0$ МПа для пылеватых разностей и с $Pq < 10{,}0$ МПа – для мелкозернистых В пользу такого разделения свидетельствуют данные таблицы 12

Таблица 12

Песчаные грунты	Средние значения сопротивления погружению конуса в грунты *Pq*, кг/см^2 (0,1 МПа)		
	четвертичные	элювии	пермские
Среднезернистые	60	-	-
Мелкозернистые	31	70	120
Пылеватые	24	41	100

2.3. Нормативные характеристики грунтов

Нормативные характеристики грунтов Удмуртии для определения прочностных и деформационных свойств четвертичных и верхнепермских отложений необходимы для решения прикладных задач строительства

Четвертичные отложения.

Корреляционная зависимость между прочностными показателями и классификационными характеристиками приведена в таблице 13, составленной А А Ткачевым и дополненной нами

Таблица 13

Наименование грунта, классификационные характеристики	Показатели сдвига	Характеристики прочности при коэффициенте пористости e				
		0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Супесь						
$0 < J_L < 0,75$	c, кПа	17	15	13	11	8
$0,2 < V_l < 2,0$	φ, град	25	22	19	16	13
Суглинок						
$0 < J_L < 0,25$	c, кПа	35	30	26	23	15
$1 < V_l < 2,0$	φ, град	22	20	18	15	11
$0,25 < J_L < 0,50$	c, кПа	30	25	20	16	12
$0,4 < V_l < 1,0$	φ, град	21	19	16	14	11
$0,5 < J_L < 0,75$	c, кПа	26	22	18	14	10
$0,2 < V_l < 0,4$	φ, град	18	16	14	12	10
Глина						
$0 < J_L < 0,25$	c, кПа	50	41	33	25	15
$1 < V_l < 2,0$	φ, град	20	18	15	13	10
$0,25 < J_L < 0,50$	c, кПа	40	33	26	19	19
$0,4 < V_l < 1,0$	φ, град	18	16	14	12	9
$0,5 < J_L < 0,75$	c, кПа	30	25	20	16	19
$0,2 < V_l < 0,4$	φ, град	16	14	13	11	9

Модуль деформации делювиальных суглинков, по выполненной А К Андреевым обработке 52 испытаний штампами, приведен в таблице 14

Таблица 14

Прочность	Модуль деформации Е, МПа		Консистенция грунта
	предельные значения	средние значения	
Очень слабые	0 – 4,0	2,0	Текучая
	2,0 – 6,0	4,0	Текучепластичная
Слабые	4,0 – 8,0	6,0	Мягкопластичная
Средней прочности	6,0 – 10,0	8,0	Тугопластичная
Прочные	8,0 – 12,0	10,0	Полутвердая
Очень прочные	10,0 – 14,0	12,0	Твердая

Кора выветривания верхнепермских глинистых отложений.

Поверхность верхнепермских отложений сильно денудирована и подвергнута физико-механическому изменению, образуя небольшую по толщине кору выветривания, которая для глинистых разностей наиболее просто может быть выявлена по уменьшению прочностных свойств Мощность коры выветривания в различных геоморфологических элементах различна, в среднем же она может быть принята 3-4 м

Модули деформации для глин коры выветривания приведены в таблице 15 по данным 41 штампового испытания

Таблица 15

Прочность	Модуль деформации Е, МПа		Консистенция грунта
	предельные значения	средние значения	
Слабые	5,0 – 15,0	10,0	Мягкопластичные
Средней прочности	7,0 – 17,0	12,0	Тугопластичные
Прочные	9,0 – 19,0	14,0	Полутвердые
Очень прочные	11,0 – 21,0	16,0	Твердые

Из данных обобщения связи между прочностными и классификационными характеристиками выделены глинистые грунты коры выветривания с положительными значениями показателя консистенции (см таблицу 16)

Таблица 16

Наименование грунта, классификационные характеристики	Показатели сдвига	Характеристики прочности при коэффициенте пористости e				
		0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Суглинки						
$0 < J_L < 0,25$	c, кПа	60	54	44	34	24
$1,0 < V_1 < 2,0$	φ, град	28	25	21	18	15
$0,25 < J_L < 0,5$	c, кПа	57	48	39	32	32
$0,4 < V_1 < 1,0$	φ, град	23	21	19	17	14
Глины						
$0 < J_L < 0,25$	c, кПа	78	67	56	45	33
$1,0 < V_1 < 2,0$	φ, град	21	19	17	16	14
$0,25 < J_L < 0,5$	c, кПа	59	53	47	40	33
$0,4 < V_1 < 1,0$	φ, град	19	17	16	15	14

Верхнепермские отложения.

Зависимость между прочностными и классификационными показателями приведена в таблице 17, составленной по данным А А Ткачева

Верхнепермские глинистые отложения по результатам статистических испытаний свай (см п 5 3) характеризуются высокими значениями модуля деформации, значения которых приведены в таблице 18

Верхнепермские пылеватые песчаники на глинистом цементе имеют близкие к глинистым грунтам значения модуля деформации, их размеры колеблются в пределах от 28,7 до 107,4 МПа при среднем значении 75,0 МПа

Таблица 17

Наименование грунта, классификационные характеристики	Показатели сдвига	Характеристики прочности при коэффициенте пористости e				
		0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Алевриты						
$J_L > 0$	c, кПа	69	61	52	44	36
$V_1 > 2,0$	φ, град	29	26	23	21	18
Изоглины						
$J_L > 0$	c, кПа	86	75	64	53	42
$V_1 > 2,0$	φ, град	23	21	19	17	15

Таблица 18

Наименование грунта	Модуль деформации Е, МПа	
	предельный	средний
Алевриты	28,5 – 127,5	70,0
Изоглины	29,0 – 145,0	75,0

Приведенные модули деформации для глинистых грунтов и песчаников предназначаются для ориентировочных оценок оснований Для расчетов осадок фундаментов следует пользоваться модулями деформации, полученными по результатам испытаний штампами, сваями, зондированием и проникание конусных наконечников Методика таких определений изложена в главе V

2.4. Типы грунтовых оснований

Грунты в строительстве рассматриваются прежде всего как основания зданий и сооружений Поэтому под основанием понимают массив грунта, деформирующийся под воздействием внутренних и внешних сил

В научно-технической и нормативной литературе вопросы классификации оснований и принципы их подразделения не нашли достаточного отражения Имеется лишь ряд схематических предложений Так, Б И Далматов выделяет три схемы оснований (инженерно-геологических условий) по наличию и взаиморасположению «слабых» и «надежных» грунтов В руководстве по инженерно-геологическим изысканиям для проектирования свайных фундаментов рекомендуется изучаемые площадки подразделять по сложности инженерно-геологических условий на три категории условия простые, средней сложности и сложные По СНиП 2 02 01-83 «Основания зданий и сооружений» основания подразделяют на два типа· естественные и искусственные При этом должны приводиться данные о грунтах для выбора типа грунтового основания

Выделение свойств и характеристик оснований как таковых еще не производилось, но потребность в этом имеется, так как характеристики грунтов – это частные показатели проб, не всегда характерные для слоя или толщи грунтового основания в целом

Главная характеристика особых свойств – *осадка*, которая также используется при установлении некоторых общих свойств пучения, набухания, просадки, ослабления и разжижения Осадка и давление под подошвой фундамента являются прямыми показателями и, как правило, не должны превышать допустимых или заданных пределов

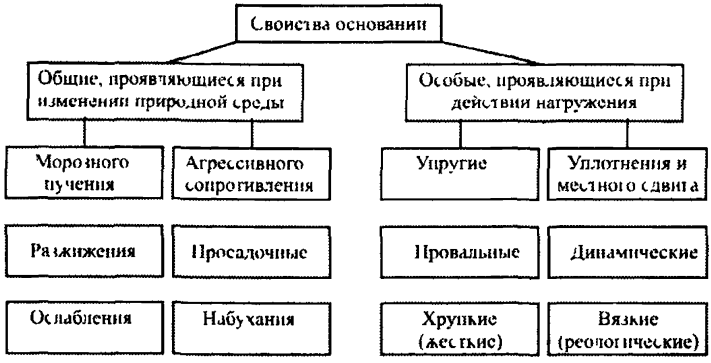


Рис 10 Схема свойств оснований

Естественные грунтовые основания (Г О) по надежности и прочности пород подразделяются на четыре класса очень прочные, прочные, средней прочности и слабые

К очень прочным относятся скальные грунты, залегающие с поверхности или не глубже 2 м Выделяются на картах грунтовых оснований ярко-красным цветом

Прочные грунтовые основания слагаются преимущественно полускальными грунтами, а также некоторыми разновидностями крупнообломочных и слабосцементированных коренных отложений На картах выделяются красным цветом при залегании до 1,0 м и коричневым при большей, но не более 2,0 м

Средней прочности Г О состоят из сухих и маловлажных покровных отложений (четвертичного возраста) при глубоком (> 5,0 м) уровне грунтовых вод Преимущественно песчаные и глинистые отложения водоразделов и коренных склонов речных долин и их террас Обозначаются зеленым цветом

Слабые Г О распространены преимущественно на поймах и на отдельных участках плоских речных террас и водораздельных пространств, сложены преимущественно слабыми покровными (четвертичными) отложениями, как правило, обводненными или сильно увлажненными Обозначаются темно-серым цветом, органогенные – черным

В основу деления грунтовых оснований Удмуртии на типы приняты особенности инженерно-геологического и гидрогеологического строения в пределах активной зоны (до 25-30 м), прочностные свойства грунтов и их возможные измерения, проявления морозного пучения, установленные как при изучении местного опыта возведения и эксплуатации фундаментов, так и по нормативам СНиП

Такое деление необходимо для подбора рациональных типов фундаментов, уточнения методики инженерно-геологических изысканий, разработки методов контроля за поведением оснований и фундаментов при строительстве и эксплуатации

Принятые принципы позволили выделить 10 наиболее типичных и распространенных в Удмуртии грунтовых оснований

Если верхняя часть инженерно-геологического разреза представлена переслаиванием грунтов, входящих в разные типы оснований или разновидностями, перечисленными выше, а также иным сочетанием покровных и подстилающих грунтов, то тип основания устанавливают по наихудшим совпадающим признакам более близкого типа оснований Например, крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем должны быть отнесены к грунтам оснований I, II, III типа, в зависимости от прочности заполнителя

Все основные типы грунтовых оснований представлены в виде схем (см схемы грунтовых оснований)

Типы грунтового основания устанавливаются по данным инженерно-геологических и гидрогеологических исследований с указанием возможного перехода в другие типы основания, исходя из прогноза изменений (в процессе строительства и эксплуатации) инженерно-геологических и гидрогеологических условий, в том числе свойств грунтов Например, переход грунтов оснований I или II типа при систематическом замачивании в процессе эксплуатации в грунты оснований III типа и наоборот, улучшение свойств грунтов *уплотнением, дренированием и т д*

Основания IV, VII и VIII типов относятся к прочным (надежным), I и V типов – к основаниям средней прочности, II, III, VI, IX, X типов – к слабым Очень прочные скальные основания в Удмуртии практически отсутствуют

При грунтоэкологическом районировании целесообразно выделение основных геоморфологических элементов в увязке с типами грунтовых оснований, согласно схеме (см рис 11)

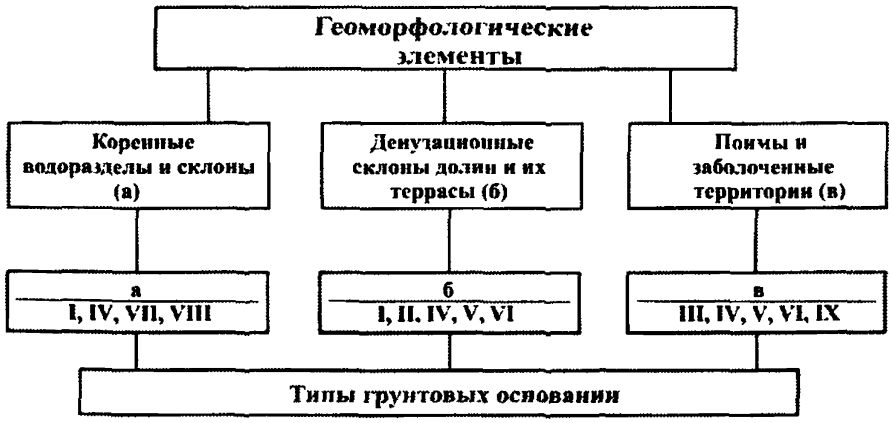
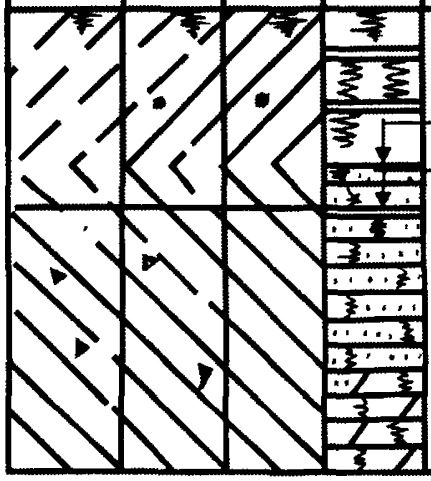


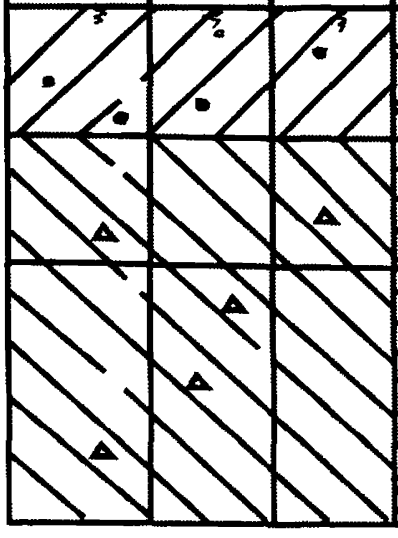
Рис 11 Иерархическая схема грунтоэкологического районирования.

Схемы грунтовых оснований

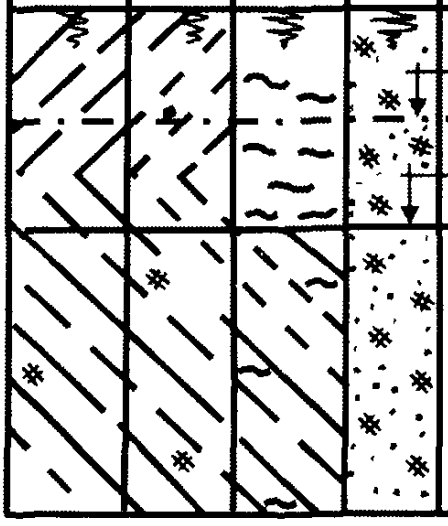
I тип

Геологические колонки				Глубина, м	Краткая характеристика основания
Супесь	Суглинок	Глина	Кора выветривания		
				>3, 0 УГВ >4, 0	Основания сложены глинистыми грунтами четвертичных отложений или продуктами коры выветривания верхнепермских пород средней и выше прочности, залегающими от поверхности планировки до 3-х и более м Уровень грунтовых вод расположен ниже 4-х метров и подъем его выше не ожидается Подстилание ниже 3,0 м любыми необводненными грунтами. Сопротивление прониканию (пенетрации) $V_1 > 1,0$ кг/см^2 При $2.0 > V_1 > 1,0$ - слабопучинистые, при $V_1 > 2,0$ - непучинистые

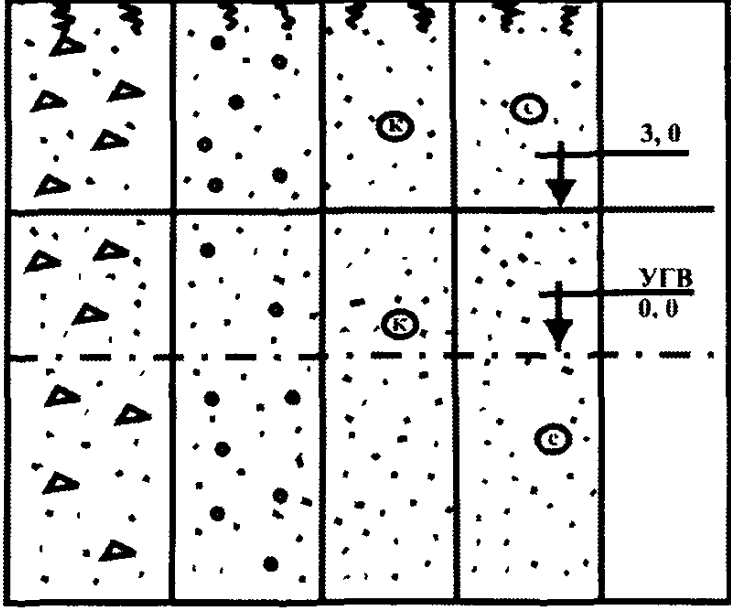
II тип

Супесь	Суглинок	Глина	Кора выветривания	Глубина, м	Краткая характеристика основания
				>3, 0 УГВ <4, 0	Грунты основании I типа, способные уменьшать прочность при увеличении влажности или появлении верховодки. Грунтовые воды на глубине до 4.0 или возможен их подъем выше 4,0 метров

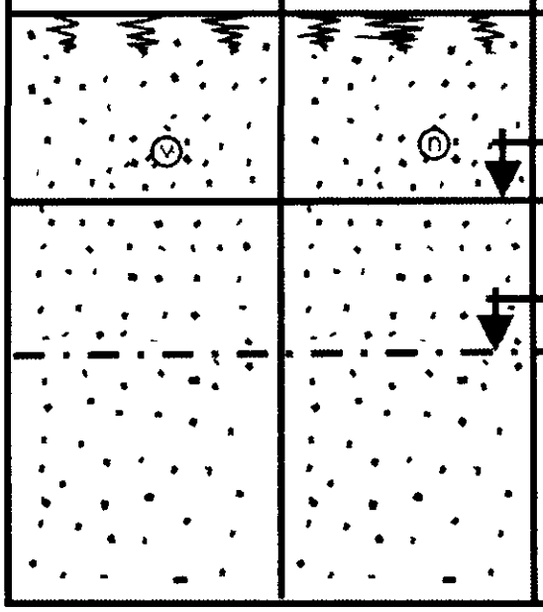
III тип

Геологические колонки				Глубина, м	Краткая характеристика основания
Суглинок	Супесь	Ил	Торф		
				УГВ <5, 0 5, 0	Основания, состоящие из глинистых слабых и водонасыщенных, а также из заторфованных или илистых грунтов четвертичных отложений Общая толщина слоев от поверхности планировки до 5,0 и более метров. Подстилание ниже 5,0 м из любых грунтов Грунтовые воды выше 4.0 м Сопротивление прониканию $V_1 < 0,5$ кг/см^2

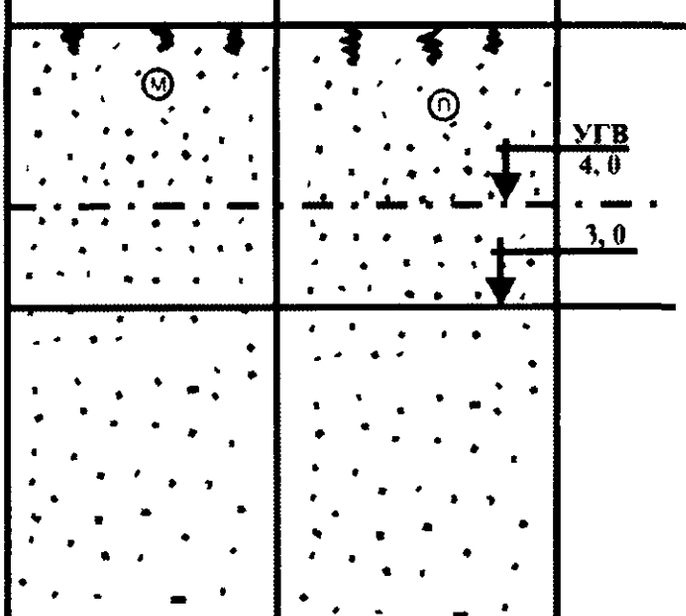
IV тип

Щебень	Галька	Крупный песок	Песок средней крупности	Глубина, м	Краткая характеристика основания
				3, 0 УГВ 0, 0	Крупнообломочные грунты без глинистого заполнителя, пески четвертичных отложений средней и выше крупности Общая толщина слоев от поверхности планировки 3,0 и более м Залегание грунтовых вод любое.

V тип

Песок		Глубина, м	Краткая характеристика основания
мелкий	пылеватый		
		>3, 0 УГВ 4, 0	Пески четвертичных отложений, мелкие и пылеватые, средней и выше плотности. Общая толщина слоев более 3,0 м от поверхности планировки. Грунтовые воды глубже 4,0 м, и их подъем не ожидается.

VI тип

Песок мелкий	Песок пылеватый	Глубина, м	Краткая характеристика основания
		УГВ 4, 0 3, 0	Рыхлые пески и грунты оснований V типа, но грунтовые воды на глубине до 4,0 м или возможен их подъем выше 4,0 м.

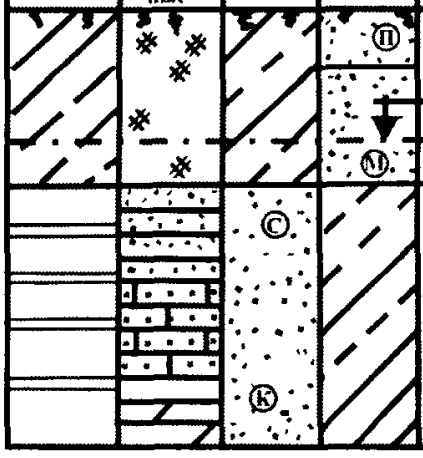
VII тип

Верхнепермские отложения			Глубина, м	Краткая характеристика основания
Песчаник на глинистом цементе	Алеврит	Известняк		
			УГВ 0,0	Очень плотные и прочные песчаноглинистые грунты верхнепермских отложений, залегающие с поверхности планировки. Грунтовые воды на любой глубине Сопротивление прониканию $V_1 > 2$ кг/см^2.

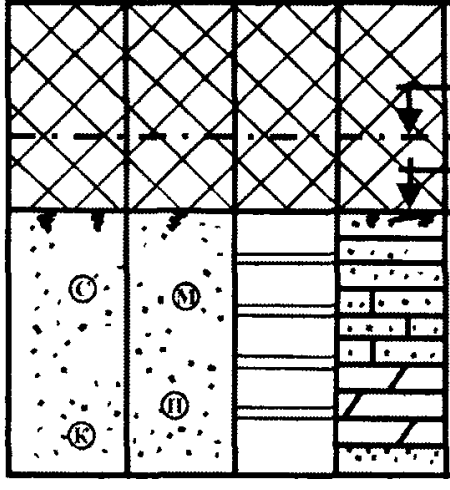
VIII тип

Песчаник	Песчаник на глинистом цементе	Мергель	Алевролит	Глубина, м	Краткая характеристика основания
	м		п	УГВ	Песчаники, алевролиты и другие полускальные породы верхнепермских отложений, включая скальные грунты, залегающие с поверхности планировки. Уровень грунтовых вод любой.
	с				
	k				

IX тип

Слабые грунты				Глубина, м	Краткая характеристика основания
Глинистые	Заторфованные	Илистые	Песчаные		
				УГВ 4, 0 <5, 0	Грунты оснований (сверху) III, VI типов, общая толщина которых не превышает 5 м Грунтовые воды на любой глубине Подстилание грунтами VII или VIII типов

X тип

Насыпные грунты	Глубина, м	Краткая характеристика основания
	УГВ 0, 0 5, 0	Грунты оснований IV, V, VII и VIII типов, перекрытые слабыми насыпными грунтами толщиной не более 5,0 м. Грунтовые воды на любой глубине.

Глава III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

3.1. Физические показатели

Перечень физических показателей приведен в главе II Физические характеристики, особенно косвенные G, e, I_p, I_L и другие, служат классификационным целям и могут быть заменены прямыми показателями θ и V, если между ними имеется функциональная или корреляционная связь

Естественная плотность ρ (удельный вес γ) – это важнейшая характеристика естественной структуры, способная меняться с изменением влажности Определяется обычно методом режущих колец по ГОСТ как отношение веса образца Q, куда входит вес твердых минеральных частиц Qr и вес воды Qw (переменная величина), к занимаемому им объему V

$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{Q_r + Q_w}{V}. \qquad (2)$$

Плотность ρ в зависимости от влажности изменяется в довольно широких пределах, от 1,6 до 2,1 т/м^3 для грунтов, не содержащих органику

Плотность частиц ρ_s есть вес твердых минеральных образований, входящих в состав грунта, определяется пикнометрически по ГОСТ Этот показатель довольно постоянен для данного вида грунта и выражает отношение веса твердых минеральных частиц к занимаемому им объему в плотной упаковке Vr, без объема пор Vn

$$\rho_s = \frac{Q_r}{V_r} = \frac{Q_r}{V - V_n} \qquad (3)$$

Плотность частиц ρ_s подавляющего большинства нескальных четвертичных грунтов довольно постоянная и может быть принята для песков – 2,66, супесей – 2,70, суглинков – 2,71, глин – 2,74 т/м^3 Плотность ρ_s верхнепермских глинистых отложений также совпадает с приведенными значениями

Влажность грунта находят по ГОСТ путем высушивания пробы при температуре 105^{0}С и выражают в процентах по отношению веса воды в пробе Qw к весу твердых сухих частиц Qr

$$W = \frac{Q_w}{Q_r}\ 100\% = f(\theta, V_1) \qquad (4)$$

При предварительном или контрольном анализе влажность верхнепермских глинистых пород может быть определена по формуле

$$W = 1{,}4(\theta - 0{,}5)(0{,}7 - \lg V_1) + 4, \qquad (5)$$

где θ – сопротивление отрыву (липкость) в кПа (10 г/см^2); V_1 – распор (МПа)

Плотность сухого грунта есть отношение веса твердых частиц ко всему объему

$$\rho_{ck} = \frac{Q_r}{V} = \frac{\rho}{1+W} = f(\rho, \theta, V_1) \qquad (6)$$

Угол естественного откоса определяется непосредственным измерением наименьшего значения угла незакрепленного откоса, сохраняющего равновесие Эта характеристика широко используется при расчетах устойчивости откосов земляных сооружений Большинство верхнепермских отложений, в силу большой структурной прочности, способны держать вертикальные стенки продолжительно время, т е для них угол естественного откоса близок или равен 90^0

Коэффициент пористости – косвенный показатель, выражающий отношение объема пор в грунте *Vn* к объему скелета или твердых минеральных частиц *Vr*

$$e = \frac{V_0 + V_B}{V_r} = \frac{V_n}{V_r}. \qquad (7)$$

Поскольку объем, приходящийся на поры, определять затруднительно, то коэффициент пористости чаще находят расчетным путем

$$e = \frac{\rho_S (1+W)}{\rho} - 1 \qquad (8)$$

Коэффициент пористости в основном используется для опосредованного нахождения табличных, реже рассчитываемых, характеристик прочности ρ и φ и деформативности (E или m) По этой причине его применение в перспективе может быть исключено

Зерновым составом грунта называется относительное весовое содержание в нем частиц различной крупности В настоящее время разработано много способов определения зернового состава грунтов

а) глазомерный, включая определение посредством палетки, прокаткой роликом по И И Черкасову,

б) ситовой анализ по ГОСТ – основной метод для песков,

в) метод отмучивания – для песчано-глинистых грунтов

Степень влажности характеризует степень заполнения пор грунта водой и рассчитывается по формуле

$$G = \frac{\rho_S W}{\rho_W e}, \qquad (9)$$

где ρ_w – удельный вес воды, W – содержание воды в долях единицы

Число пластичности J_p глинистых грунтов выражает степень дисперсности (глинистости) и является классификационным показателем деления глинистых грунтов на супеси, суглинки и глины Механические свойства глинистых грунтов зависят от содержания глинистых частиц и от их соотношения с более крупными фракциями, т е от дисперсности, обусловленной его минералогическим составом и условиями образования

Видовое деление глинистых пород производят

а) по содержанию и соотношению глинистых (размером менее 0,005 мм), пылеватых (от 0,05 до 0,005 мм) и песчаных частиц (крупнее 0,05 мм),

б) по разности весовых влажностей между границей текучести и границей раскатывания – основной метод по ГОСТ

в) по липкости при увлажнении до границы текучести,

г) глазомерный – по слабому раскату в шнур (супеси) и количеству песчаных частиц, по яркому блеску поверхности среза глин и матовому – у суглинков

Последний метод применим для предварительного определения вида грунта непосредственно на строительной площадке, остальные способы являются лабораторными

СНиП предусматривает определение числа пластичности по разности весовых влажностей на границе текучести W_L и раскатывания W_P по формуле

$$J_p = W_L - W_p \qquad (10)$$

Влажностью на границе текучести называют такую влажность, при которой глинистый грунт переходит из слабого состояния в очень слабое Определяют эту влажность по ГОСТ

Влажность на границе раскатывания также находится по методике ГОСТ Она характеризует переход грунта в прочное состояние, при котором достигается наилучшее искусственное его уплотнение

Для четвертичных глинистых отложений по результатам математической обработки 618 проб, проанализированных на W_L и W_P, корреляционная связь между ними записывается уравнением

$$W_L = 1{,}75\, W_P - 1. \qquad (11)$$

Для верхнепермских грунтов по 506 пробам аппроксимирующее уравнение имеет вид

$$W_L = 2W_P - 4 \qquad (12)$$

Число пластичности (дисперсности) J_P точно и быстро определяют способом по патенту № 1763977 от 22 07 82 г (автор Ю А Ельцов) Для этого глинистый грунт объемом не *менее 100 см*^{3}, *увлажняют по стандартной методике до границы текучести Затем в него* задавливают полированный шариковый наконечник на глубину радиуса (от 9 до 10 мм) Для точности базирования сверху наконечника надевается обойма (см рисунок 12), которая перед отрывом слегка приподнимается (сдергивается) Усилие сцепления прилипания, преодолеваемого при отрыве, равно сопротивлению отлипания θ, зависит от содержания глинистых частиц J Это позволяет определять процентное содержание на единицу боковой поверхности заглубленной полусферы глинистых частиц J и число пластичности J_P по эмпирическим формулам [10]

$$J = 0{,}34\theta - 4; \qquad (13)$$

$$J_P = 0{,}2\theta - 3, \qquad (14)$$

где θ – липкость на границе текучести, г/см^2 (см таблицу 9)

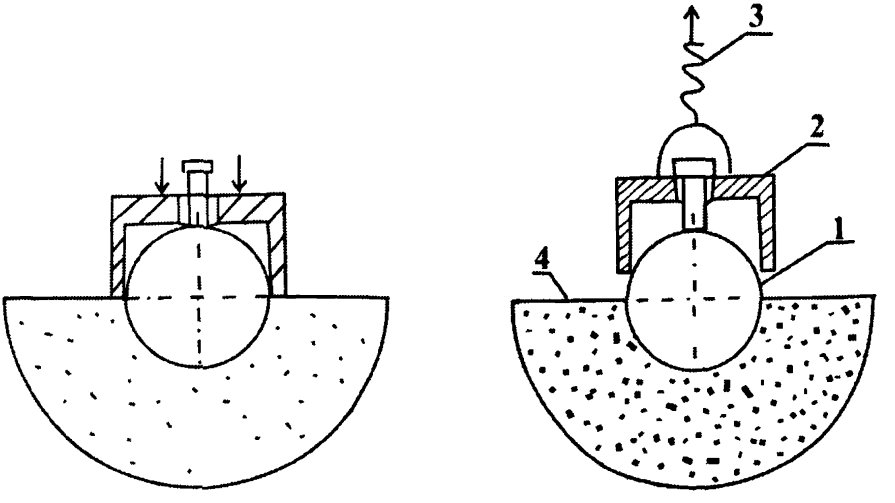


Рис 12 Схема испытания глиномером
1- шариковый наконечник, 2 - обойма; 3- данамометр, 4 - грунт

Показатель консистенции глинистых грунтов рассчитывается по формуле

$$I_P = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = f(V_1), \qquad (15)$$

где W – естественная влажность по ГОСТ.

По СНиП глинистые грунты различаются по показателю консистенции (см главу II) Показатель консистенции косвенно характеризует прочность грунта и часто получается искаженным из-за погрешностей определения W, W_L, W_P даже в пределах, допустимых ГОСТами и подлежит исключению из употребления

В прямом методе показатель консистенции находится по результатам испытания конусом, угол при вершине которого 30^0, по установленной В Ф Разореновым зависимости

$$I_L = a - b \lg V_1, \qquad (16)$$

где a и b – безразмерные коэффициенты, равные соответственно 0,24 и 0,72,

V_1 – сопротивление прониканию конуса 30^0 (раздвиг) (кг/см^2=10 МПа)

Определение показателя консистенции по границам влажности критикуется многими исследователями, поэтому этот показатель нами употребляется только в сравнении с показателем прочности, характеристикой более точной и понятной, получаемой довольно простым и быстрым способом

Коэффициент фильтрации ($Кф$) характеризует скорость протекания воды через единицу поперечного сечения при напоре, равном единице Он является основной характеристикой водопроницаемости и используется для определения притоков воды и при расчете осадки во времени Определяется опытным путем, при откачке или наливе воды в грунт Для предварительных расчетов коэффициент $Кф$ может приниматься по справочным данным

Кроме перечисленных основных показателей, для выделения специфичных свойств отдельных разностей грунта определяют другие, например степень просадочности, относительное набухание, льдистость, содержание органических веществ и растворимых солей, плотность песков и др

3.2. Прочностные показатели

К прочностным характеристикам относятся показатели сопротивления сдвигу сцепление c и модуль трения $tg\varphi$ (тангенс угла внутреннего трения φ) Они определяются по результатам одноплоскостного среза, трехостного сжатия, испытанием разноугольными конусами и другими способами

Сцепление c – это предельное сопротивление внутренних структурных связей при отсутствии внешних силовых воздействий Модуль трения характеризует размер возрастания предельных сопротивлений сдвигу τ при увеличении сжимающих напряжений σ По СНиП модуль трения и сцепление рассчитывают по формулам математической статистики

$$tg\varphi = (n\sum_1^n \tau_i\sigma_i - \sum_1^n \tau_i \sum_1^n \sigma_i)/\Delta;$$

$$c = \frac{1}{n}(\sum_1^n \tau_i - tg\varphi \sum_1^n \sigma_i) = (\sum_1^n \tau_i \sum_1^n \sigma_i^2 - \sum_1^n \sigma_i \sum_1^n \tau_i\sigma_i)/\Delta, \qquad (17)$$

$$\Delta = n\sum_1^n \sigma_i^2 - (\sum \sigma_i)^2,$$

где τ_i и σ_i – частные значения сопротивлений сдвигу и сжимающих (нормальных) напряжений, n – число определений величин τ (не менее 6)

Если при одноплоскостном сдвиге число определений τ будет менее 6, то применяют графо-аналитический способ определения c и $tg\varphi$ В случае испытания грунта в приборах трехостного сжатия размеры τ и σ устанавливают по формулам прочностной теории напряженного состояния

$$\tau = \sigma_1 / 2;$$
$$\sigma = \sigma_n + \sigma_1 / 2; \quad (18)$$
$$\sigma_n = [\sigma_2 (1 - tg\varphi) + \sigma_3 (1 + tg\varphi)] / 2,$$

где σ_1 – предельное напряжение сжатия; $\sigma_2 > \sigma_3$ – поперечные напряжения сжатия.

При исследованиях конусами способы установления напряжений τ и σ приведены в главе IV.

В практике изучения верхнепермских грунтов из-за их комковатого сложения, стабилометры и приборы трехостного сжатия не применяются. Ограничено также применение сдвиговых приборов. Поэтому наибольшим распространением пользуются полевые способы испытаний, преимущественно конусными наконечниками.

3.3. Деформационные характеристики

Деформационные свойства характеризуют уплотнение грунтов под влиянием нагрузки. Основными деформационными характеристиками являются модуль деформации E, коэффициент сжимаемости m, модуль осадки l.

Модуль деформации E является важнейшей характеристикой грунта и может определяться плоскими штампами и плоскими наконечниками. Однако возможность использования плоского наконечника, но не штампа, для определения модуля деформации многими оспаривается, и применение его не предусматривается действующими нормативными документами. Модуль E используют при расчете осадок грунтовых оснований.

В изыскательских организациях Удмуртии модуль деформации определяют по результатам компрессионных испытаний и опытных нагрузок на крупноразмерные штампы, с использованием методик ГОСТ и СНиП, широко известных, а потому в данной работе не описанных. Однако применение их для опробования коренных пород весьма затруднительно. Конусные же методы в этих условиях не встречают помех и рекомендуются для широкого использования.

Определение модуля деформации $Eз$ по результатам зондирования регламентировано СН и ГОСТ, где даны формулы для расчета нормативных значений модуля деформации:

для песков $Eз=3Pq$; *(19)*

для глин $Eз=7Pq$.

Модуль деформации может определяться по результатам вдавливания конуса. Впервые такая возможность была установлена В.Ф.Разореновым для элювиальных грунтов Урала. Проверка предложенной им корреляционной зависимости между значениями модуля деформации и сопротивлением проникания конуса показала применимость ее для глинистых грунтов Удмуртии. При этом установлено [13]

$$E=160V_1. \quad (20)$$

Наиболее точные значения модуля E получают при испытании грунта несколькими разноугольными конусами. При этом для расчета используют упрощенную формулу [19].

$$E=10(1+2ctg\psi)^2 V_4, \quad (21)$$

где ψ – угол равный $45-\varphi/2$; V_4 – сопротивление (раздвиг) внедрению шероховатого конуса 90°, кг/см^2.

Размеры коэффициента сжимаемости или модуля осадки определяют по данным компрессионных испытаний. Они широко известны, регламентированы ГОСТ и СНиП.

Поэтому наибольшее внимание здесь уделено новым методам полевого определения модуля E (см главу V)

К числу деформационных характеристик относится также коэффициент бокового давления

$$\xi = \frac{1 - tg\varphi}{1 + tg\varphi} = tg\psi. \qquad (22)$$

Однако на практике коэффициент ξ экспериментально практически не определяется В расчетах обычно используют ориентировочные значения коэффициента бокового расширения

$$\mu = \xi / (1 + \xi) = (1 - tg\varphi)/2 \qquad (23)$$

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВ КОНУСАМИ

4.1. Определение механических характеристик грунта по сопротивлению проникания

Процесс внедрения конусного наконечника разбивается на этапы проникание, заглубление и погружение, отличающиеся специфичными особенностями и закономерностями [14]

Режим проникания (пенетрация) до глубины не более высоты конуса, в однородную среду и при отсутствии технологических погрешностей, характеризуется постоянством сопротивления прониканию (раздвигом)

$$V = \frac{P}{F} = const, \qquad (24)$$

где P и F – усилие и боковая поверхность погружения

Заглубление – переходный этап, который охватывает интервал внедрения от полного погружения наконечника до глубины, равной удвоенной высоте конуса Здесь резко уменьшается приращение усилий внедрения Это один из самых сложных интервалов, так как он вбирает особенности проникания и погружения, поэтому результаты заглубления пока не имеют практического применения

Погружение (зондирование) – это этап внедрения ниже заглубления На этом этапе сопротивление погружению (распор) изменяется с глубиной в зависимости от напряженного состояния грунта и его прочностных характеристик

Основная особенность проникания – постоянство сопротивления внедрению – позволяет принять два режима испытания с переменной глубиной внедрения конуса при различных или постоянных размерах нагрузки и с постоянной или заданной глубиной погружения и регистрацией необходимых при этом усилий В том и в другом режиме целесообразно выражать сопротивление прониканию через давление по боковой поверхности конуса

При воздействии конуса на грунтовую среду результирующее усилие по боковой поверхности контакта вызывает напряжение сжатия σ, которое уравновешивается реакциями отпора грунта, и сдвигающее (касательное) напряжение τ, преодолевающее сопротивление сдвигу части грунта вокруг конуса

Выполненный анализ по определению действующих контактных напряжений при проникающем воздействии конуса на окружающую среду показал, что средние значения напряжений σ и τ, возникающих по объемлющей поверхности скольжения, слагаются из комбинации напряжений, действующих на четырех октаэдрических и трех наклонных площадках, и будут равны [19]

$$\sigma = \frac{4\sigma_1 + 3\sigma}{7} = \frac{4\alpha + 3}{7} V \sin\beta,$$
$$\tau = \frac{4\tau_1 + 3\tau}{7} = \left(\frac{4\sqrt{2}}{3}\alpha \sin\beta + 3\cos\beta \right) \frac{V}{7}. \qquad (25)$$

Уравнения (25) приводятся к виду, удобному для практического использования

$$\sigma = n\ V \sin\beta = mV, \qquad (26)$$
$$\tau = V/2,$$

где n – поправка, значения которой табулированы в зависимости от μ и β [19] или могут быть приняты для приближенных расчетов равными 1 15, 1 10 и 1 05, для конусов30^0, 60^0, 90^0 соответственно, с допустимой погрешностью ±5% (для песков и супесей с плюсом, для глин – с минусом), m – расчетный коэффициент, значения которого даны в таблице 19

Таблица 19

Наименование грунта	Размеры коэффициента m для конусов 2β		
	30°	60°	90°
Песок, супесь	0,31	0,57	0,78
Суглинок	0,30	0,55	0,74
Глина	0,28	0,53	0,71

По значениям (τ_1 и σ_1), (τ_2 и σ_2) и (τ_3 и σ_3), вычисленным по формулам 26, для конусов $2\beta = 30^0, 60^0, 90^0$ соответственно, строят график сдвига и по нему устанавливают сцепление и модуль трения При достаточном количестве испытаний (более 6) размеры c и $tg\varphi$ могут быть найдены по (17) (для консолидированно-дренированного состояния)

Экспериментально установлена [14] и теоретически подтверждается зависимость коэффициента раздвига, для пары разноугольных конусов, от угла внутреннего трения

$$K_2 = \frac{V_1}{V_2} = f(\varphi), \qquad (27)$$

Показана целесообразность применения не менее трех разноугольных конусов для повышения точности определения прочностных характеристик по среднему коэффициенту раздвига

$$K_3 = V_1 \frac{V_2 + V_3}{2V_2V_3} = f(\varphi), \qquad (28)$$

где V_1, V_2, V_3 – раздвиг конусами 30^0, 60^0, 90^0

В интервале изменения угла внутреннего трения от 8^0 до 32^0 связь коэффициентов K_2 и K_3 от модуля трения близка к линейной и выражается каноническими уравнениями [14]

$$tg\varphi = 1{,}11 - 1{,}47K_3 = 1{,}11 - 1{,}15K_2 \qquad (29)$$

По формулам (29) размеры $tg\varphi$ характеризуют модуль трения при быстром сдвиге и могут не совпадать с параметрами полученными при консолидированно-дренированном режиме сдвига

Для связных грунтов установлена аналитическая связь сцепления $c=f(\varphi, V_1)$, имеющая вид

$$c = (0{,}5 - m\ tg\varphi)V_1, \qquad (30)$$

где m – безразмерный коэффициент из таблицы 19 для конуса 30^0

Наряду с параметрами c и $tg\varphi$ по результатам испытания разноконусными наконечниками определяют деформационные характеристики E и μ (см § 3 3)

В работе [13] на основании теоретического анализа и сопоставления статических и динамических испытаний свай с данными конусного зондирования и результатами проникающего опробования керна конусами, установлены аналитические связи раздвига V_1 конусом 30^0 с лобовым R и боковым сопротивлением f сваи (см главу V) Это позволило получить уравнение по расчету несущей способности сваи

$$\Phi = 43\left[(V_1 - 1)F + 0{,}01u\sum V_i\ l_i\right]\lg(H - 2), \qquad (31)$$

где F – площадь поперечного сечения сваи, $м^2$, u – периметр, $м$, V_1 – раздвиг для слоя под острием, V_i – раздвиг для i-го слоя сбоку сваи, $т/м^2$, l_i – толщина i-го слоя сбоку сваи, $м$, H – глубина забивки, $м$

Величины раздвигов V_1 и V_i для глинистых грунтов определяются по результатам испытания керна конусом 30^0 Для песчаных же грунтов они могут быть заменены эквивалентными значениями V_1 и V_i, установленными обратным перерасчетом, которые даны в таблице 20

Таблица 20

Грунт	Плотность	Эквивалентные значения раздвига для песков, т/м^2	
		под острием, V_1	по бок поверхн V_{1_1}
Песок гравелистый	плотный	34,9	-
	средней плотности	21,8	-
Песок крупный	плотный	25,4	14,7
	средней плотности	15,9	11,3
Песок средней крупности	плотный	13,4	14,7
	средней плотности	8,4	11,3
Песок мелкий	плотный	9,6	10,9
	средней плотности	6	8,4
Песок пылеватый	плотный	7	7,8
	средней плотности	4,4	6

Использование эквивалентных значений V_1 и V_{1_1} для песков позволяет применять формулу (31) для расчетов несущей способности свай в любых напластованиях из песчаных и глинистых грунтов

Для предварительного определения допустимого давления по величине раздвига V_1 глинистого грунта рекомендуется формула

$$R_0=2,5V_1 \qquad (32)$$

Проникающие испытания конусами находят широкое применение для определения анизотропных свойств вдоль и вкрест простирания слоев, изучения изменений прочности под влиянием замачивания или высыхания, установления тектоники под влиянием внешних воздействий и т д [14]

В практике проникающего опробования грунтов конусами используют различные конструкции прочномеров В условиях Удмуртии хорошо зарекомендовали себя прочномеры марки ЕП, используемые с начала 70-х годов XX столетия [13]

4.2. Прочномер ЕП-12

Прочномер ЕП-12 разработан в Ижевском механическом институте к т н Ю А Ельцовым и д т н Л А Галаган для использования на стройках, в изыскательских подразделениях и грунтовых лабораториях ВУЗов

Предназначен ЕП-12 для ручного исследования конусами нескальных, преимущественно песчано-глинистых грунтов в виде керна, монолитов и непосредственно в целике (на дне и стенках котлованов, траншей, шурфов и других подземных выработок, на откосах и обнажениях) С их помощью по усилию внедрения разноугольных конусных наконечников на заданную глубину, определяются прямые показатели прочности грунта

Описание конструкции.

Основными рабочими органами прочномера являются четыре сменных разноугольных конусных наконечника В комплект входят три гладких конуса с вершинами 30^0, 60^0, 90^0 и один шероховатый 90^0, все с боковой поверхностью 10 см^2, разделенных рисками на 5 и 1 см^2 (см рис 13)

Прочномер состоит из корпуса 1, внутри которого помещена витая цилиндрическая пружина 3, свободно насаженная на шток 4, к нижнему концу которого крепятся сменные наконечники Корпус снабжен ручками 2 Сверху корпуса винтом 8 крепится индикатор часового типа 7 для замера сжатия пружины 3 Шток с пружиной фиксируется в корпусе винтовой крышкой 5.

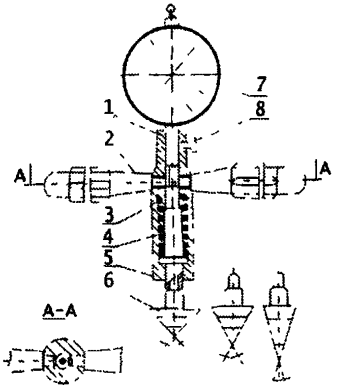


Рис 13 Прочномер ЕП-12 Общий вид
1 – корпус, 2 – рукоятки, 3 – пружина, 4 – шток, 5 – крышка, 6 – конусный наконечник, 7 – индикатор, 8 – винт

Габаритные размеры в упаковке 4,5х10х17,5 см, вес 0,6 кг Позволяет определять допустимое давление, сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации, коэффициент бокового расширения, лобовое и боковое сопротивление вокруг сваи и другие показатели грунта

Особенности сборки.

С индикатора перед установкой его в прочномер снимают шариковый наконечник, освобождают или удаляют возвратную пружину Между шпинделем и его трубчатым кожухом вкладывают элемент трения – кусочек полиэтиленовой трубки с продольным разрезом, например, от стержня шариковой ручки Такое простое устройство позволяет фиксировать стрелку индикатора в момент максимального сжатия пружины прочномера

Подготовленный таким образом индикатор вставляется в верхний канал корпуса прочномера до упора на скользящий шток 4 Большая стрелка индикатора на нуле устанавливается поворотом регулировочного кольца индикатора Малая стрелка приводится в нулевое положение глубиной ввода шпинделя индикатора в корпус прочномера Для этой же цели допустимо применение шайб, толщина которых подбирается по величине зазора между индикатором и корпусом прочномера (на рис 13 не показаны) Фиксация и крепление индикатора в корпусе осуществляется винтом 8 Плотное сопряжение пружины с кольцом штока и корпусом, если оно не обеспечивается поджатием крышки, может быть достигнуто применением шайб укладываемых над пружиной Если же шпиндель индикатора не достигает штока, то шайбу укладывают между упорным кольцом штока и крышкой

Тарировка пружины.

Для измерения величины сжимающего усилия производится тарировка пружины на образцовых средствах измерения по ГОСТ Эта операция выполняется при сборке Промежуточную тарировку в процессе эксплуатации осуществляют не реже одного раза в год, используя для этого оттарированные динамометры или весовые устройства Допустимо использование циферблатных весов с пределом взвешивания не менее 10 кг Тарировку ведут возрастающими на 1 кг ступенями путем ручного нажатия через шток прочномера (конус должен быть снят) на грузовую площадку весов

Ручную тарировку можно выполнить до усилия 25-30 кг, достаточных для установления математической формулы перевода показаний индикатора в усилие сжатия пружины Формулу перевода устанавливают по графику связи показаний индикатора от усилий сжатия Вес прочномера при этом не учитывается, так как он уравновешивается частью груза измерительного устройства

Каноническая формула пересчета показаний индикатора в усилие на конус имеет вид

$$P = H \ \ tg\alpha + P_0, \qquad (33)$$

где H – ход стрелки индикатора, *мм*, α – угол наклона тарировочной линии к оси H (оси хода стрелки, *мм*) P_0 – начальный участок графика по оси P при $H = 0$, примерно равный весу прочномера

Порядок испытания.

Испытание грунта обычно ведут конусом 30^0 Равноугольными конусами испытывают только при комплексном опробовании для получения прочностных характеристик

В твердые разности глинистых грунтов конусы задавливают попеременно до нижней риски (в очень твердые и полускальные – до верхней относительно основания) Отсчет по индикатору в первом случае удваивают, во втором удесятеряют, т е приводят к усилию полного погружения конуса для удобства последующей обработки результатов Допускается запись результатов в виде дроби (*H/5 H/10 H/1*), в числителе которой отсчет по индикатору, а в знаменателе – размер боковой поверхности погружения, $см^2$ Каждым конусом один и тот же грунт испытывают не менее 2-3 раз, принимая за основу среднее значение результата

Испытание керна Вынутый из скважины грунт на лопастях спирального бура или шнека опробуют непосредственно в снаряде Толщина грунта должна быть не менее 4 см Керн испытывают не менее чем в 2-3 точках через каждые 0,5 м Грунт в стаканах, грунтоносах и колонковых испытывают со стороны открытого торца или через специальные прорези сбоку Испытание грунта нарушенной структуры при бурении спиральными бурами вполне допустимо для определения прочности и параметров сопротивления сваи, т к грунт вокруг сваи также имеет нарушенное строение Здесь применяют только один конус 30^0

В целике применяют как один (30^0) конус, так и все разноугольные конусные наконечники Испытания ведут по свежесрезанной поверхности по сетке 15х15 см, на отдельных площадках по 0,5х0,5 м, равномерно расположенных в котловане Каждым конусом грунт испытывают не менее трех раз для определения среднего значения В шурфах сетка опробования может быть вытянута по продольной оси Вблизи стен и приямков конус вдавливают как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях для установления анизотропных свойств

В лаборатории испытывают грунт как нарушенной, так и ненарушенной структуры Образец грунта должен быть заключен в гильзу диаметром не менее 11 см, высотой более 5 см Допустимо задавливать конус до рисок в центр гильзы сдвиговых или компрессионных приборов перед зачисткой грунта и отделенного от монолита В последнем случае полученные данные следует рассматривать как контрольные

Обработка результатов.

По результатам пересчета показаний индикатора в усилие проникания P по (33) находят сопротивление прониканию, названное для краткости раздвигом (см формулу 24)

По величине раздвига конусом 30^0 глинистые грунты в таблице 19 подразделяются по прочности, консистенции и оценочному сопротивлению грунта Оценочное сопротивление R_0 для предварительного определения допустимого давления на грунт можно определить по эмпирической формуле (32)

Результаты вдавливания конуса 30^0 (основного) в керн или стенку шурфа следует оформлять в виде графика (подобно зондировочному) Для этого от стенки скважины в масштабе 1 см – 1 $кг/см^2$ откладывают значения V_1 Значения $V_1 > 2$ $кг/см^2$ откладывают в масштабе 1 10 от условной линии, соответствующей значениям $V_1 = 2$ Площадь между кривой проникания, соединяющей точки отложенных значений $V_1 > 2$, и условной линией затеняют для выделения очень прочных и полускальных разностей Наличие такого графика на разрезе (см рис 14) повышает информативность, увеличивает наглядность и облегчает выбор несущего слоя

По величине раздвига удобно выделять водонасыщенную зону в глинистом грунте, где $V_1 < 0,2$ $кг/см^2$, увлажненную (влажную) с $V_1 = 0,2$-$0,4$ $кг/см^2$ Выделяются также набухающие, увлажнённые грунты, которые при бурении дают пробку, закупоривая ствол

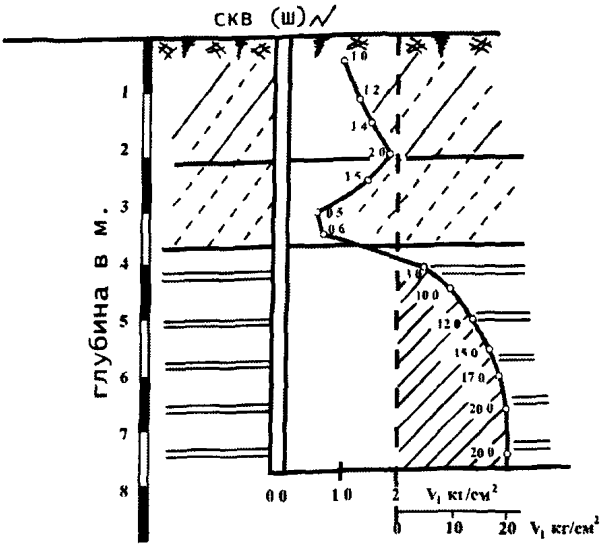


Рис 14 Инженерно-геологический разрез с данными проникания (распора) конуса 30⁰ в керн или стенки шурфа

скважины Керн в таких грунтах поднимается с одного и того же интервала, делая, до какого-то предела, невозможным дальнейшее бурение Причем керн этот имеет одни и те же показатели V_1 В оплывающих же грунтах пробка имеет резко уменьшенную величину V_1

В комплект прочномера входит глиномер ГЕ-6, область применения которого приведена в главе 3 1, а основные части показаны на рисунке 15 Диаметр шарикового наконечника 1,96 см, боковая поверхность погружения и отрыва полусферы 6 см² Допустимо применение полушаровых наконечников диаметром 18-20 мм Работа с глиномером проста и особых пояснений не требует Для определения числа пластичности (показателя глинистости) не требуется взвешивания и исключается сушка грунта, повышается точность определения, культура труда и производительность.

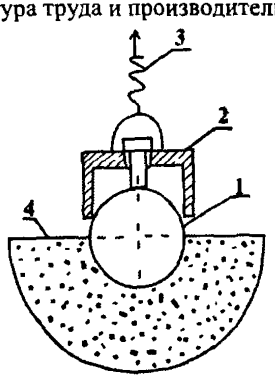


Рис 15 Глиномер ГЕ-6 Основные части 1 – шар, 2 – обойма, 3 – динамометр, 4 – грунт Габаритные размеры в упаковке 4,5х10х15 см, вес 0,4 кг Служит для установления типа глинистого грунта с подразделением на глинистый песок, супесь, суглинок, глину Время испытания 5-10 минут, без сушки и взвешивания Одновременно может использоваться для определения липкости

Простота и портативность прочномера, в комплекте с глиномером, делают их универсальными для определения основных физико-механических характеристик грунтов, особенно при экспресс-испытаниях Дешевизна и высокая скорость испытания, простота и точность определения параметров нескального грунта позволяют рекомендовать эти приборы для оснащения строителей и изыскателей Они, как и рулетка с отвесом, становятся постоянной принадлежностью на стройках, особенно при производстве земляных работ.

Они крайне необходимы при грунтоэкологических изысканиях, при работе с керном, который, кроме отдельных проб, изучается лишь визуально и только в лучшем случае пальпируется (ощупывается пальцами) Конусопроникающее опробование дает достаточный информационный материал о свойствах грунта, позволяет моделировать улучшение или ухудшение состояния грунтов

Прочномер – это надежный и необходимый прибор изыскателя и строителя Он позволяет заполнить технологический разрыв в опробовании грунтов между изысканиями и строительством, особенно при земляных работах и закладке фундаментов Применение прочномеров позволяет перейти от описательного определения категорийности нескальных пород к инструментальной их оценке

Испытания грунтов прочномерами имеют вековой опыт В Удмуртии в период с 1967 по 1976 гг на большинстве промышленных объектов инженерно-геологические изыскания институтом «Ипромашпром» (ныне институт «Прикампроект») проводились с конусопроникающим опробованием нескальных грунтов Это объекты автозавода, мотозавода, радиозавода, Воткинского машзавода, ВЗГА, Сарапульского радиозавода и других За пределами УР прочномеры применялись на объектах Куйбышева (Самары), Саратова, Екатеринбурга, Юрги Кемеровской области, Вятских Полян и др [9]

Прочномер – это прибор XXI века

4.3. Изучение капиллярного натяжения и взвешивающего действия воды

Сухие пески при осыпании, а избыточно увлажненные (в подводных условиях) при оплывании образуют естественные откосы под разными углами Пески, увлажненные капиллярной водой, способны иметь вертикальные стенки определенной высоты, удерживаемые силами капиллярно-молекулярного натяжения (притяжения)

В своих опытах Ж Плантема установил различное сопротивление погружению конусов в сухие, водонасыщенные и влажные пески Сопротивление погружению конуса во влажные пески оказалось в пять и более раза выше, чем в водонасыщенные

В серии наших опытов с сухими, увлажненными и водонасыщенными мелкозернистыми песками были проведены испытания его конусными наконечниками 30^0, 60^0, 90^0 Полученные результаты приведены в таблице 21

Из данных таблицы 21 следует, что давление связности $\varepsilon = c/tg\varphi$ при капиллярном натяжении в 18 раз выше, чем в песке сухого состояния Во взвешенном в воде состоянии капиллярно-молекулярные связи ослабевают примерно в 32 раза

Проведенные опыты позволяют определять внутреннее напряженное состояние, которое имеется даже между взвешенными в воде песчинками Внутреннее напряженное состояние, отождествляемое с давлением связности, возрастает при действии капиллярно-молекулярных сил натяжения (связности)

Опыты показали, что определение c и φ в водонасыщенных песках возможно только конусными испытаниями Они обеспечивают достаточную точность и исключают ошибки при возможном растекании песка, как это случается при плоском сдвиге

Таблица 21

Грунт	Раздвиг, МПа			c, кПа	φ, град	$c/tg\varphi$
	V_1 (30°)	V_2 (60°)	V_3 (90°)			
Песок сухой	0,017	0,037	0,126	0,6	30	1,0
влажный	0,259	0,400	0,578	9,0	26	18,0
водонасыщенный	0,010	0,032	0,149	0,4	35	0,57

5.1. О связи между раздвигом и показателями сопротивления сваи

Несущая способность забивной сваи, работающей на сжимающую нагрузку, определяется по сумме сопротивлений грунта основания под нижним ее концом R и по боковой поверхности f. Значения R и f определяются как опытным путем (или по величине распора), так и косвенно – по табличным значениям R и f, например, по показателю консистенции. Последний способ критикуется многими, например Ю.Г. Трофименковым, А.А. Григорян и др.

Поскольку показатель консистенции является косвенной характеристикой, то его использование приводит к большим погрешностям в классификации прочностного состояния. Покажем это на примере, для этого допустим погрешность в определении $W = \pm 1\%$, $W_L = \pm 2\%$, $W_P = \pm 2\%$, т.е. в пределах, нормированных по ГОСТ. Тогда суглинистый грунт тугопластичного состояния с показателем консистенции $J_L = (W - W_P)/(W_L - W_P) = (25-20)/(30-20) = 0{,}5$ при допущении отмеченных выше погрешностей, может быть отнесен к текуче-пластичному состоянию $J_L = (26-18)/(28-18) = 0{,}8$; а при противоположных знаках погрешностей – к полутвердому $J_L = (24-22)/(32-22) = 0{,}2$.

Рассмотрим теперь, как эти погрешности скажутся на определении несущей способности сваи.

Для железобетонной сваи (сечением 0,3 х 0,3 м, длиной 5 м), забиваемой в однородный грунт, численное решение без поправочных коэффициентов по формуле СНиП

$$\Phi = RF + u\sum f_i I_i \qquad (34)$$

дает: для J_L = 0,6 - 0,8 Φ = 11 т; J_L = 0,5 Φ = 22 т; J_L = 0,2 Φ = 62 т.

Следовательно, при подсчете несущей способности по формуле (34) допущение даже незначительной погрешности в определении влажностей дает значительную разницу в оценке несущей способности сваи. Отсюда, сопротивление R и f по формуле (34) следует находить не по консистенции, а по раздвигу конусом, используя для этого таблицы 22 и 23.

Таблица 22

Глубина забивки сваи, м	Расчетные сопротивления глинистых грунтов R под нижним концом забивной сваи, т/м^2 (10 кПа), при показателе консистенции J_L						
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	при раздвиге V_i, кг/см^2(10 кПа)						
	2,18	1,59	1,16	0,84	0,60	0,44	0,32
3	750	400	300	200	120	110	60
4	830	510	380	250	160	125	70
5	880	620	400	280	200	130	80
7	970	690	430	330	220	140	85
10	1050	730	500	350	240	150	90
15	1170	750	560	400	290	165	100
20	1260	850	620	450	320	180	110
25	1340	900	680	520	350	195	120
30	1420	950	740	560	380	210	130
35	1500	1000	800	600	410	225	140

Таблица 23

Средняя глубина расположения слоя, м	Расчетные сопротивления глинистых грунтов на боковой поверхности сваи f, т/м^2 (10 кПа), при показателе консистенции J_L						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
	при раздвиге конусом V_i, кг/см^2 (10 кПа)						
	1,16	0,84	0,60	0,44	0,32	0,23	0,12
1	3,5	2,3	1,5	1,2	0,8	0,4	0,3
2	4,2	3,0	2,1	1,7	1,2	0,7	0,4
3	4,8	3,5	2,5	2,0	1,4	0,8	0,6
4	5,3	3,8	2,7	2,2	1,6	0,9	0,7
5	6,6	4,0	2,9	2,4	1,7	1,0	0,7
6	5,8	4,2	3,1	2,5	1,8	1,0	0,7
8	6,2	4,4	3,3	2,6	1,9	1,0	0,7
10	6,5	4,6	3,4	2,7	1,9	1,0	0,7
15	7,2	5,1	3,8	2,8	2,0	1,1	0,7
20	7,9	5,6	4,1	3,0	2,0	1,2	0,7
25	8,6	6,1	4,4	3,2	2,0	1,2	0,7
30	9,3	6,6	4,7	3,4	2,1	1,2	0,8
35	10,0	7,0	5,0	3,6	2,2	1,3	0,8

По данным таблиц 22 и 23 выявлена линейная связь сопротивления R и f от раздвига Vi конусом 30^0, с изменением их с глубиной по логарифмической зависимости (см рис 16 и 17).

Выразим отношение сопротивлений f и R через коэффициент $K_f = f / R$, тогда его изменение в зависимости от глубины и консистентного состояния можно представить таблицей 24, где за основу определения коэффициента K_f приняты значения f и R, из СНиП, приведенных в таблицах 22 и 23

Таблица 24

Глубина слоя, м	Коэффициент K_f при показателе консистенции J_L			
	0,2	0,3	0,5	0,6
3	0,013	0,020	0,017	0,016
5	0,013	0,016	0,014	0,015
10	0,013	0,017	0,013	0,013
15	0,014	0,013	0,017	0,014
30	0,015	0,018	0,012	0,012

Из таблицы 24 следует, что коэффициент K_f не имеет какой-либо определенной закономерности изменения ни по глубине, ни по связи с прочностными свойствами грунтов и изменяется в пределах от 0,012 до 0,2 Для песчаных грунтов значения коэффициента K_f более постоянны и составляют для пылеватых – 0,02, мелких – 0,018, среднезернистых – 0,016 Для расчета несущей способности сваи примем среднее значение K_f= 0,014, тогда

$$f = 0{,}014\ R \qquad (35)$$

Принятие K_f равным 0,014R ведет к погрешности в определении несущей способности сваи в пределах ±10 %

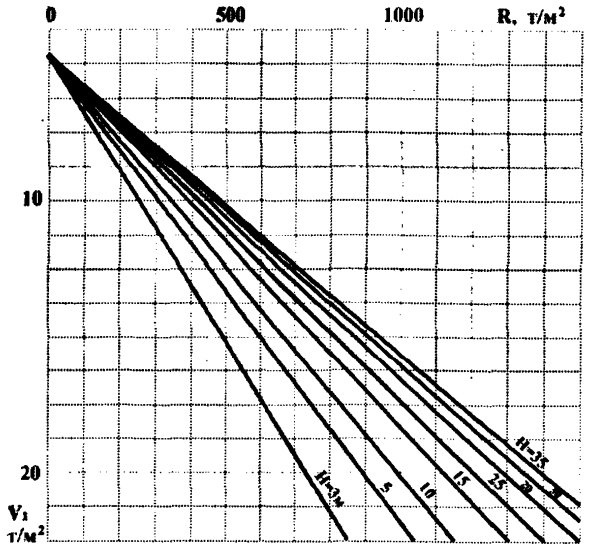


Рис. 16. График аппроксимаций для определения сопротивления острия сваи R по раздвигу Vi для глинистых грунтов (H - глубина сваи, м).

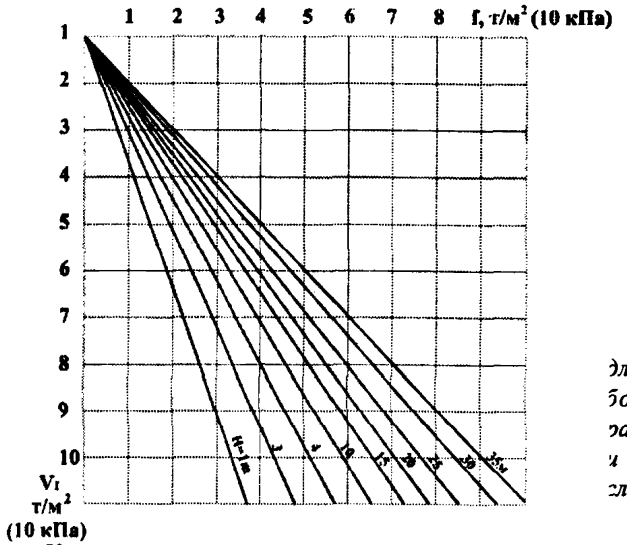


Рис. 17. График аппроксимаций для определения сопротивления на боковой поверхности сваи по раздвигу Vi для глинистых грунтов и глубине середины выделенного слоя h, м.

Корреляционная зависимость между f и R, определенная для связных грунтов Е.В.Платоновым, Н.А.Зоценко и др. (журн. «Промышленное строительство», № 1, 1976), равна $f = 0,6 + 0,017R$, т.е. близка к установленной по формуле (35). В.Ф.Разореновым и Э.М.Моргуном эта зависимость была уточнена в части численных коэффициентов (Механические свойства грунтов и несущая способность свай. Воронеж, 1987).

Анализ графиков на рис. 16 и 17 показывает, что значения R и f могут быть аппроксимированы формулами:

$$R = 43\,(V_i - 1)\,\lg(H + 2); \qquad (36)$$

$$f = 0,58\,V_i\,\lg(h + 2),$$

где V_i – раздвиг конусом 30° i-го слоя сбоку сваи; V_l – раздвиг конусом 30° на глубине острия сваи и ниже на $4d$.

Во второй формуле (36) член h заменим на H, учитывая, что значение f для середины слоев составляет приближенно 3/4 от значений f на глубине H, тогда

$$f = 0{,}43\ V_1\ lg(H + 2) \qquad (37)$$

Такое допущение позволяет значительно сократить вычислительные операции без снижения точности расчетов Действительно, подставляя в формулу (34) значения R из (36) и f из (37), получим уравнение (31) по определению несущей способности $Ф$, которое в каноническом виде запишется

$$Ф = a\left[(V_1 - \iota)F + bu\sum V_i l_i\right]lg(H + 2), \qquad (38)$$

где a и b – безразмерные коэффициенты, определяемые из опытов

Значения безразмерных коэффициентов a и b, определяемые по опытным данным, а также величина $f(H)$ из (38) могут уточняться по мере накопления опытных данных для региональных разностей грунтов

Результаты расчета по формулам (31) контролируются в случае необходимости по (34), подстановкой значений R и f из таблиц 22 и 23

Между сопротивлениями распора P_q и раздвига V установлена эмпирическая связь

$$P_q = 25\ V_1 \qquad (39)$$

Тогда уравнение (31) можно записать в следующем виде

$$Ф = 1{,}2\left(P_q F + 0{,}01u\sum P_i l_i\right), \qquad (40)$$

где P_q – распор под острием сваи, P_i – распор для выделенных слоев сбоку сваи

Предложенные методики расчетов позволяют отказаться от косвенного (по показателю консистенции) метода определения R и f и перейти на расчет несущей способности сваи по раздвигу или распору

Это, помимо выигрыша в точности оценок показателей грунта, дает экономическую выгоду, ибо стоимость определений раздвига несравненно меньше стоимости консистентного определения состояния грунта Кроме того, исключается большая и трудоемкая работа по табличной выборке R и f

Выполненное сопоставление несущей способности по распору с данными статических испытаний свай дает надежное основание для широких обобщений, но, тем не менее, следует подчеркнуть необходимость дальнейших исследований и сопоставлений с опытными испытаниями в других регионах страны

5.2. Несущая способность сваи в сопоставлении с данными погружения конуса

В § 5 1 была выведена формула несущей способности сваи (40), исходя из установленной связи (39) между V_1 и P_q Хотя такая связь и подтверждена перекрестной проверкой через модуль деформации Е и оценочное сопротивление грунта R_0, тем не менее проверка другими методами также вполне целесообразна и необходима Сделаем это через проверку формулы (31) с данными статических испытаний свай Для этого воспользуемся данными 53 комплексных испытаний грунтов, сложенных четвертичными и верхнепермскими нескальными грунтами, на различных строительных площадках Удмуртии, Как следует из графика рис 18, несущая способность по (40) и по статическим испытаниям имеет вполне удовлетворительную сопоставимость, т е еще раз подтверждается найденная связь между V и P_q в глинистых грунтах Хотя эти опыты имеют пока лишь местное значение, но они дают исходные предпосылки для широкой проверки предложенного по (40) расчетного приема

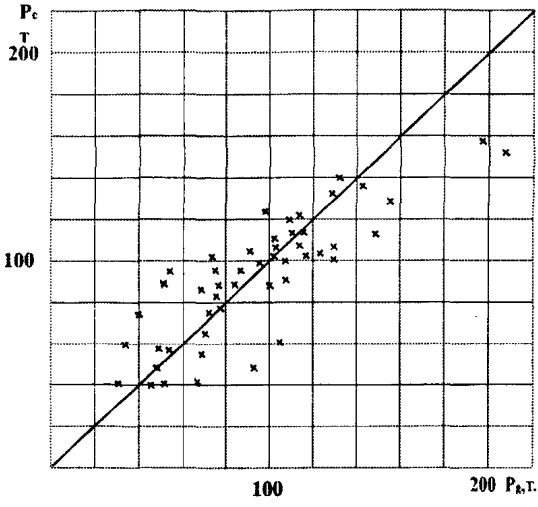
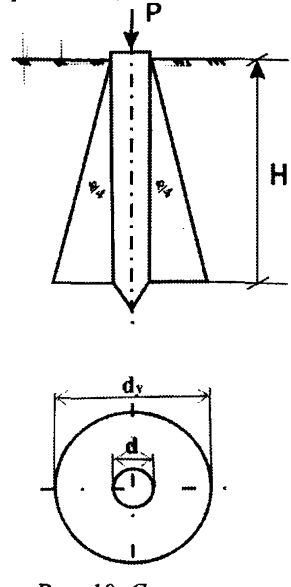


Рис.18. График сравнения допустимо-предельной нагрузки на сваю по статическим испытаниям P_c и определенной по сопротивлению погружению P_q.

5.3. Новая методика расчета модуля деформации по результатам статических испытаний свай

В практике исследования грунтов плоскими наконечниками и штампами, особенно комковатых верхнепермских глин Удмуртии, выявились существенные расхождения в определении размеров модуля деформации в сравнении с другими способами. Одна из причин – сложность зачистки контактной плоскости с грунтом. Кроме того, способ сложен для применения в обводненных слабых грунтах. Поэтому возникла необходимость использования результатов статических испытаний свай одновременно для определения деформационных свойств. Выбор этого способа обусловлен достаточным количеством опытов по испытанию свай, большим интервалом глубин испытаний, порой недоступных для известных методов; возможностью контрольной проверки и сравнения с результатами погружения конуса, исключением погрешности, обусловленной шероховатостью контакта грунта под подошвой штампа.



Однако в практике определение модуля деформации способами статического испытания сваи еще не производилось, а поэтому потребовалось доказательство возможности его применения. Теоретической основой применения этого метода послужило известное прямое решение осадки свайного фундамента по прочностным (угол внутреннего трения) и деформационным (модуль деформации и коэффициент бокового расширения) показателями, приняв которые за основу и решая уже обратную задачу, находим модуль деформации по осадке и нагрузке на сваю в пересчете на условный фундамент.

Подсчет модуля деформации ведется по схеме рис. 19, для упрощения подошва условного фундамента считается круглой, что дает небольшую погрешность в определении площади.

Рис. 19. Схема определения площади условного фундамента под сваей.

Сначала определяется средневзвешенное значение угла внутреннего трения по длине сваи по формуле

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \ldots + \varphi_n h_n}{H}, \qquad (41)$$

где φ_1, φ_2, φ_3 – углы внутреннего трения слоев по боку сваи, *град.*; h_1, h_2, h_3 – толщина слоев, вошедших в подсчет, *м*; H – длина погружения сваи в грунт, *м*.

Затем найдем диаметр круглого условного фундамента на глубине острия сваи

$$d_y = d + 2ltg\varphi_{cp}/4, \qquad (42)$$

где d – сторона квадратной сваи, принятая за приведенный диаметр, *м*.

Решая обратную задачу, определяем модуль деформации

$$E_y = (1-\mu^2)P/Sd_y, \qquad (43)$$

где μ – коэффициент бокового расширения; P – нагрузка на сваю в пределах прямой пропорциональности по графику осадки; S – осадка в допредельном состоянии по графику осадки; d_y – диаметр условного фундамента.

По предложенной методике были выполнены расчеты по данным 50 статических испытаний свай и произведено сравнение полученных модулей E_y с модулями E_3, найденными по распору с использованием формулы (19). Сравнение дано в виде графиков на рис. 20 и 21. Оно подтвердило пригодность предложенной методики для определения модуля деформации, попутно с получением размера несущей способности свай.

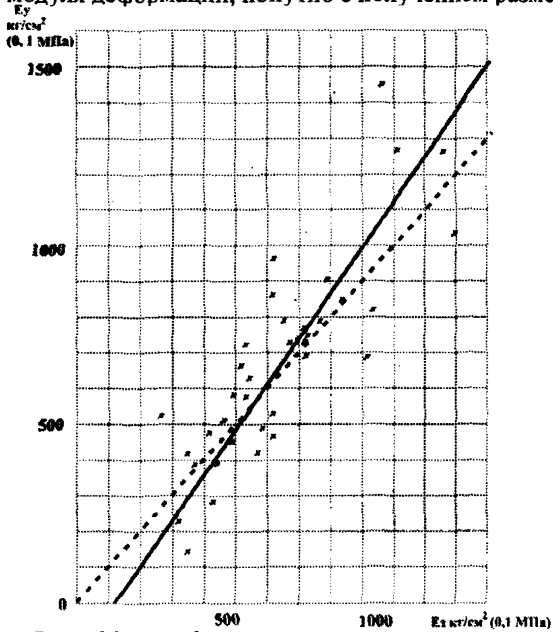


Рис. 20. Графическое сопоставление модулей деформации верхнепермских глин, определенных по результатам статических испытаний свай Ey по (43) и сопротивлению погружению конуса E3 по (19): сплошная линия – аппроксимирующее значение; пунктир – среднее значение.

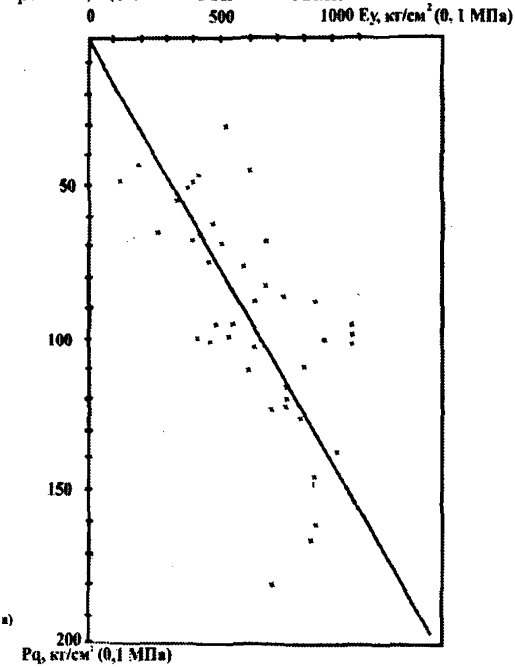


Рис. 21. Графическое сопоставление модулей деформации по статическим испытаниям свай Ey с сопротивлением погружению Pq. Сплошная линия – аппроксимирующее значение.

5.4. Определение оценочного сопротивления грунта по статическим испытаниям свай

В § 5.3 при определении модуля деформации использовалась величина давления на условный фундамент при достижении критической нагрузки на сваю. Имея эти данные, вполне логично провести сравнение достигнутого предельного давления на условный свайный фундамент с величиной распора при погружении (зондировании). С этой целью было проанализировано 35 параллельных статических испытаний свай и зондирование статическим конусом. Результаты сравнения показаны графиком на рис. 22.

По графику (см. рис. 22) подтверждается ранее установленная иным путем, связь оценочного сопротивления R_0 с распором P_q:

$$R_0=0,1\,P_q. \qquad (44)$$

Одновременно было отмечено, что при значениях распора более 5 МПа минимальные значения R_0 не были меньше $0,08\,P_q$.

Изложенная методика также расширяет область использования статических испытаний свай и указывает на один из возможных путей экспериментально-теоретических исследований, которому пока еще не было уделено должного внимания.

Проведенное исследование показывает, что расчет свайных оснований по несущей способности наиболее рационально вести по величине раздвига и распора, коррелирующих с сопротивлением грунта под острием и по боковой поверхности сваи. Такой метод рекомендуется для включения в СНиП.

Между распором, раздвигом и показателями сопротивления сваи в глинистых грунтах имеются корреляционные переходы, на основании которых возможен взаимоконтроль результатов.

В комплексе статических испытаний свай возможно определение модуля деформации и оценочного сопротивления грунта, что ведет к сокращению объема специальных штамповых исследований. Выполненный объем экспериментальных сопоставлений создает необходимые предпосылки для совершенствования теоретических основ исследования и расчета свайных оснований.

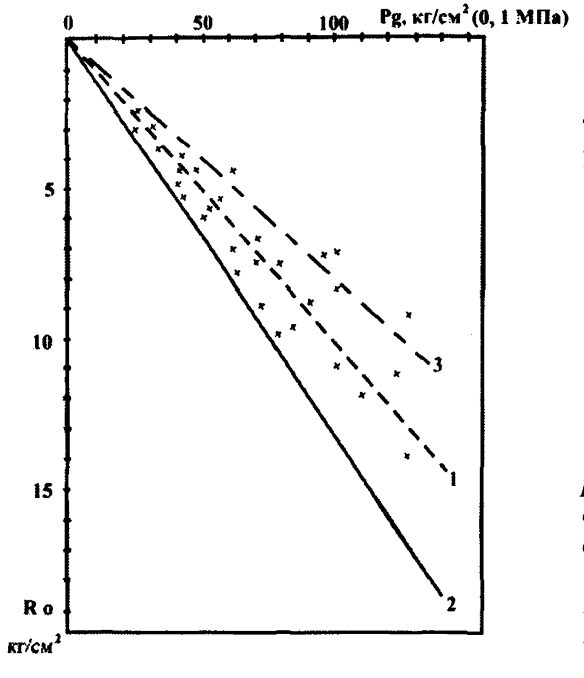


Рис. 22. Графики зависимости распора P_q от оценочного сопротивления R_0 на условный фундамент:
1 – допустимые значения;
2 – предельные значения;
3 – безопасные значения.

Глава VI. ПРОЯВЛЕНИЕ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

6.1. Наблюдение за промерзанием и оттаиванием грунтов

Общие сведения о глубине промерзания даны в § 1.5. В этом же параграфе основное внимание уделено результатам непосредственных наблюдений, выполненных на различных площадках в разные годы.

С 1986 по 1988 годы в пригороде Ижевска велись систематические наблюдения за подъёмом углов бревенчатого частично отапливаемого дома и холодной веранды на малозаглубленных фундаментах, опёртых на глубине 0,5 м на слои водонасыщенной супеси, подстилаемой тугопластичными суглинками II типа грунтовых оснований. Здесь же на оголённой всю зиму от снега площадке велись наблюдения за глубиной промерзания (см. рис. 23 и 24).

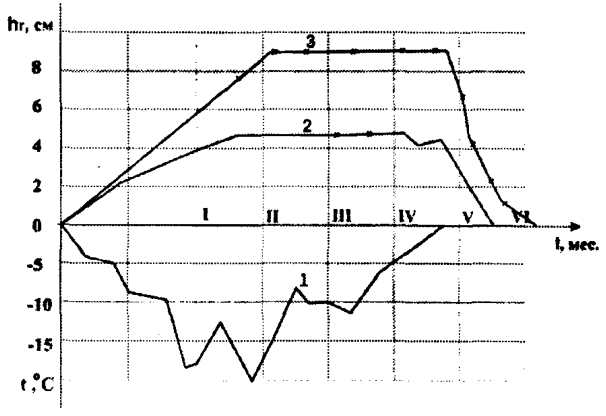


Рис. 23. Результаты наблюдений 1986-87 годов:
1 – график температуры (t); 2 – подъём угла дома; 3 – подъём веранды.

Для уменьшения пучения грунта и перекоса нижней рамы дома вокруг него был устроен фашинный дренаж глубиной 0,5-1,0 м, что позволило снизить величину пучения и неравномерность подъёма углов здания (см. рис. 24).

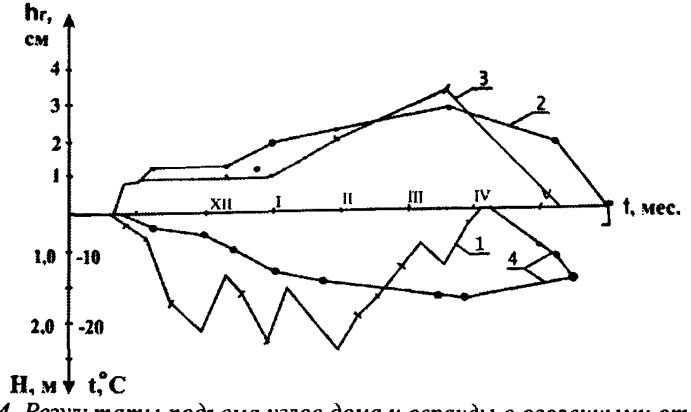


Рис.24. Результаты подъема углов дома и веранды с оголенными от снега фундаментами в период с I по IV (1987-1988 гг.):
1, 2, 3 – см. рис. 23; 4 – график роста глубины промерзания.

По полученным данным отмечаются следующие особенности·

- в первый малоснежный период промерзания подъем фундаментов пропорционален падению температуры,
- максимальный подъем от морозного пучения отмечен под мало нагруженными фундаментами веранд,
- кратковременное оголение поверхности от снега возле фундамента дает заметное, 3-4 мм за декаду, приращение подъема грунта вместе с фундаментом,
- на неравномерность пучения влияет тепловой режим в отдельных частях здания

Данные двухлетних наблюдений показывают, что полное оттаивание грунта под холодными зданиями и хорошо вентилируемыми верандами (навесами) наступает через 30-31 день после перехода к положительным температурам наружного воздуха, и через 48-53 дня под глухими подпольями не отапливаемых зданий Под отапливаемыми же зданиями грунт не промерзает, и в подпольях сохраняется положительная температура

Оттаивание грунта под промороженным основанием II типа автомойки «Гарант» в 1991 году продолжалось до 15 июля с северной стороны и до 3 июня с южной Это привело к неравномерной осадке составившей 10,7 см под углом А5 [17]

На лесных тропах в парке им Кирова полное оттаивание (1997 г) произошло через 20 дней, а в глухой лесной части через 30-35 дней от момента перехода к положительным температурам воздуха

Во всех наблюдаемых нами пунктах начало оттаивания начиналось снизу с началом потепления, после же схода снега стало преобладать оттаивание сверху

По агроклиматическим данным продолжительность оттаивания почв составила супесчаных – 10-15 дней, суглинисто-глинистых – 15-20 дней

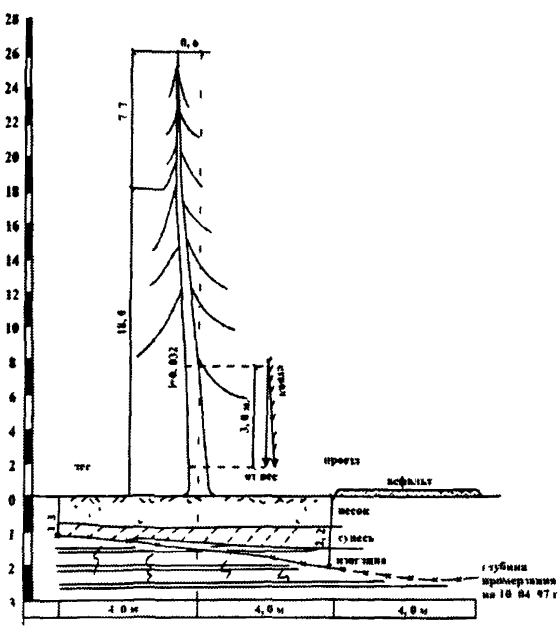


Рис 25 Грунтовый разрез с искривленной елью.

На рис 25 приведен грунтовый разрез с искривленной елью, вершина которой на высоте 18 м приняла вертикальное положение Годовые наблюдения за креном показали, что наклонная часть ствола зимой увеличивает крен, а летом приходит в исходное состояние Сопоставляя время с момента искривления (по количеству мутовок) со сроками устройства дороги, можно предположить, что причиной искривления ствола послужило неравномерное промерзание грунта, повышенное со стороны дороги В парке это не единственный факт искривления вершин елей и пихт вдоль дороги от неравномерного морозного вспучивания грунта

По визуальным наблюдениям в пойменной части рек Иж и Позимь, подъем опор осветительной сети за холодные зимы составил до 15-20 см. Аналогичные явления отмечены по опорам ЛЭП. Эти же явления привели к их крену. Так, мачты освещения на металлобазе, как и в случае с елью, отклонены в противоположную от дороги сторону, где было больше снега, а следовательно, и меньшая глубина промерзания, что и вызвало перекос с одновременным влиянием неравномерного оттаивания. Факты подъема опор имеющих уширения в приземной части обнаружены во многих частях поймы по зазору между поверхностью грунта и подошвой уширения. Подбивка грунта под зазор привела через год к дополнительному подъему опоры, образованию нового зазора при оттаивании. Таким способом было установлено ежегодное поднятие поверхности в пределах 15-20 см на поймах, где грунтовые условия соответствуют грунтовым основаниям III типа.

Эти обстоятельства следует иметь в виду при производстве геодезических работ и проектировании зданий и сооружений. О подъеме грунта свидетельствуют многочисленные факты заклинки дверей жесткой дорожной одеждой въезда в помещение.

При визуальном обследовании рельс мостового крана металлобазы №1 были установлены продольные и поперечные смещения (по следам скобления), составившие в месте температурного разъема (шва) 4,075 и 2,86 см соответственно. Такие перемещения явились не только результатом инерционного смещения под влиянием работающего крана, но и неравномерностью морозного пучения. Так, по замерам зазора между колоннами, спаренными у так называемого «шва», было зафиксировано ежегодное зимнее его увеличение в пределах до 2-4 см.

Величина морозного подъема ненагруженной поверхности глинистого грунта при промерзании до расчетной глубины промерзания может определяться по формуле:

$$h_f = d_f \frac{\rho_d}{\rho_w}\left\{0{,}09\left[\omega - K_w\left(T_{up}\right)\omega_p\right] + 1{,}09K_B J_l \psi \sqrt{\frac{T_{up}}{T_c}}\eta \frac{(\omega - \omega_{cv})^2}{\omega_p}\right\}. \qquad (45)$$

Для расчета по формуле (45) найдем расчетную предзимнюю влажность на примере площадки в районе г. Ижевска, сложенной супесью, подверженной пучению в наибольшей степени

$$\omega = \frac{K_e \omega_n \Omega_{oc}}{\Omega_e}, \qquad (46)$$

где K_e – коэффициент различия в испарении с поверхности грунта, с некоторым запасом $K_e = 1$; ω_n – средняя влажность грунта промерзающего слоя в летне-осенний период, равная 0,2; Ω_e – расчетное количество осадков за начальный период с положительными температурами, равный $t_e = 1$ месяц при глубине промерзания $d_f = 2{,}09$ м и коэффициенте фильтрации $K_{cp} = 0{,}07$ м/сут; Ω_{oc} – расчетное количество осадков за конечный период с положительными температурами (до замерзания грунта), $t_e = 1$ мес.

Данные гидрометеорологической службы о среднемесячном количестве осадков приведены в таблице 25.

Таблица 25

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX	X
Количество осадков, мм	35	49	65	51	46	43

Отсюда значения Ω_e и Ω_{oc} будут соответственно равны 35 и 43 мм, тогда расчетная предзимняя влажность по (46) будет $\omega = 0{,}25$. Расчетная влажность предела пучения супеси определяется по формуле:

$$\omega_{pr} = 0{,}92\frac{\rho_S - \rho_d}{\rho_S + \rho_d} + 0{,}08K_\omega\left(T_{up}\right)\omega_p, \qquad (47)$$

где ρ_s и ρ_d – плотность твердых частиц и сухого грунта, равная соответственно 2,70 и 1,55; $K_\omega(T_{ир})$ – коэффициент, равный 0,26, определяется по специальной таблице, для средней температуры грунта в декабре – 80 на глубине до 0,4 м по ближайшему пункту наблюдений в г. Сарапуле; ω_p – влажность на границе раскатывания, равная 0,19.

Параметр $Kв$ = 0,91 находится по формуле:

$$K_B = \omega_{max}\rho_S\rho_d /(\rho_S - \rho_d), \qquad (48)$$

по величине $\omega_{рч}$, равной 0,25, и при максимальной осенней влажности, соответствующей ω_{max} = 0,26, имеем $\omega_{рч} < \omega$, т.е. условия применения (45) выполняются.

Температурный импульс движения влаги в промерзающем грунте J_t = 1 определен по значениям среднезимней температуры воздуха $T_0 = -10{,}6^0$С за пять холодных месяцев при суммарном значении отрицательных температур за холодное время /T/ –52,9^{0}С, при параметре ψ = 1,20 и η = 3,55.

При полученных параметрах расчетное значение морозного подъема поверхности грунта по (45) составило h_f = 9,0 см. Максимальное значение величины h_f для северных районов республики оказалось равным h_f = 14 см.

Выполненные замеры пучения 23 железобетонных опор освещения с уширенной бетонной частью по поверхности пучинистых грунтов в различных районах г. Ижевска, с высоким уровнем грунтовых вод, показали, что за весь многолетний период эксплуатации их подъем от первоначального положения изменялся от 5 до 19 см, т.е. оказался близок к расчетному. В этих же районах зафиксированы осложнения при эксплуатации ворот промышленных зданий в зимний период – заклинка поднятым от промерзания грунтом совместно с покрытием въезда.

6.2. Специальные геодезические наблюдения

В зиму 1986-87 годов проводились наблюдения за пучением стен депо металлобазы г. Ижевска. Было отмечено стабильное положение стен отапливаемой части и подъем стоек ворот и прилегающих частей стены с амплитудой 3,5 см (см. рис. 26). Здесь же отмечено неравномерное пучение грунтов под фундаментами колонн мостового крана на площадке открытого склада. Наибольшая разность отметок верха фундаментов (7,8 см) была зафиксирована по центральному ряду, где устроен температурный шов, и ростверк имеет удвоенную площадь опирания [2]. Геодезические работы выполнялись под руководством к.т.н. Н.И.Невзорова.

Металлобаза и депо расположены в пойме реки Позимь. Сверху здесь отсыпаны суглинисто-глинистые грунты толщиной до 2,0-2,5 м. Ниже почти повсеместно залегает торф или илистые суглинки, очень слабые, водонасыщенные, толщиной 1,5-2,5 м. Подстилающие породы (мелкозернистые пески) залегают на глубине 3,5-4,0 м. Уровень грунтовых вод на глубине 0,4-0,6 м. Все грунты III типа грунтовых оснований относятся к сильно пучинистым.

В отапливаемом депо дрезин (12х24 м) с металлическими воротами, без теплового тамбура, были устроены 8 реперов и велись годичные наблюдения за их высотным положением. На графиках рис. 26 четко прослеживается влияние промерзания под полом неутепленного въезда. Морозное пучение грунта под въездом в депо привело к деформациям прилегающей стены.

На открытой площадке склада металлов, оборудованной двумя мостовыми кранами, в разное время года были выполнены замеры деформаций колонн. Здесь наибольшее пучение отмечено по оси В, где проходят подъездные пути, постоянно очищаемые от снега.

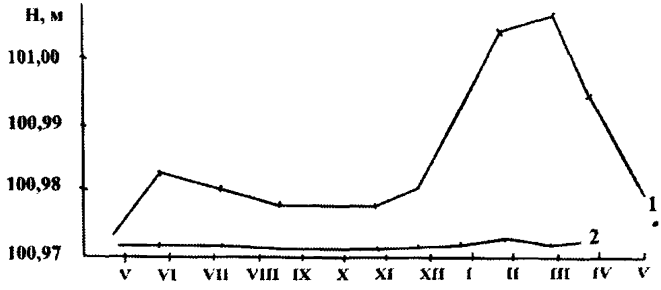


Рис. 26. Графики изменения высотного положения марок:
1 – у ворот въезда в депо; 2 – у противоположной стены.

Проведенные измерения свидетельствуют, что наибольшие деформации как от динамических нагрузок, так и от морозного пучения приурочены к спаренным колоннам «деформационного шва» и захватывают соседние колонны. Отсюда становится почти очевидной вредность устройства деформационных разрывов, вызывающих перерасход строительных конструкций и усложняющих эксплуатацию из-за перекосов (см. рис. 27).

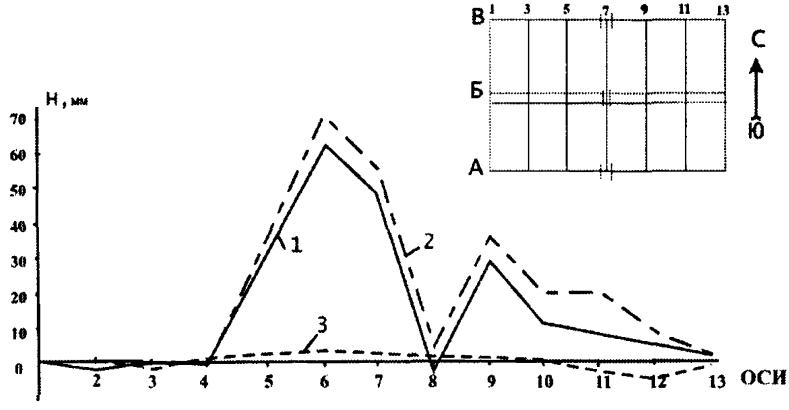


Рис. 27. Графики разности отметок колонн по оси Б и схема осей.
1 – разность отметок с 30.07.86 по 12.03.87 г.;
2 – разность отметок с 30.07.86 по 18.04.87 г.; 3 – разность отметок на 30.07.86 г.

6.3. Описание некоторых деформаций морозного пучения

Наибольшее количество деформаций зданий и сооружений в Удмуртии связано с морозным пучением и оттаиванием. Сильной пучинистостью обладают грунты пойм, особенно основания III и IV типов, а также IX и X. Но появление и развитие деформаций обычно связано с неравномерностью оттаивания.

При строительстве АБК автозавода были зафиксированы осадки некоторых колонн. Так, колонна в пересечении осей А69 осела на 105 мм в период с 12.05.68 по 12.06.68 гг. Вскрытие фундамента показало, что фундамент под этой колонной был устроен на непучинистых изоглинах, засыпанных сверху слоем смерзшегося опила, не убранного при монтаже фундамента. После того как из под части фундамента был вынут слабый оттаявший грунт и произведено усиление его опорной части, осадка его прекратилась.

Здание цирка было построено в 1943 году на грунтовом основании VIII типа, состоящем из коренных непучинистых песчаников с глинистым цементом и прослоями, имеющими карбонатную цементацию. Глубина залегания их до 2-3 м. Подстилающие породы – комковатый глинистый мергель. Грунтовые воды приурочены к подошве песчаника. Деформаций стен здание не имело. Отмечено лишь отделение стены выходного тамбура, расположенного с северной стороны (см. рис. 28). Причиной отделения послужило отсутствие перевязки в стыках и устройство жесткой отмостки, очищаемой от снега. Это способствовало просачиванию воды под отмостку и замерзанию в холодные дни. Сказывался здесь и разный тепловой режим: в цирке – теплый, в тамбуре – холодный. Однако наличие трещины в стыке тамбура не угрожало устойчивости здания в целом.



Рис. 28. Отделение выходного тамбура от стены Ижевского цирка.

Отделение крылец от основных помещений довольно частое явление. Реже, но тем не менее проявляется влияние морозного пучения на массивные отмостки стены многоэтажных зданий в пучинистых грунтах на поймах. Так, стена служебного помещения автокооператива «Гигант» на грунтах III типа после расширения и увеличения отмостки, очищаемой постоянно от снега, раскололась по всей высоте и ежегодно «сходится и расходится» по этой трещине, требуя постоянных ремонтов.

Систематическое влияние промерзания и оттаивания на фундаменты зафиксировано на площадке открытого складирования, расположенной с северной стороны кузницы предприятия «Старки», сложенной насыпными глинистыми грунтами X типа, увлажненными жидкими отходами отработки, с постоянным уровнем на глубине 0,8 м. Здесь фундаменты под колоннами монолитные, бетонные, сечением 1,0x1,1 м, высотой 1,5 м (глубина заложения 1,25 м), просуществовав в бездействии около 10 лет, оказались

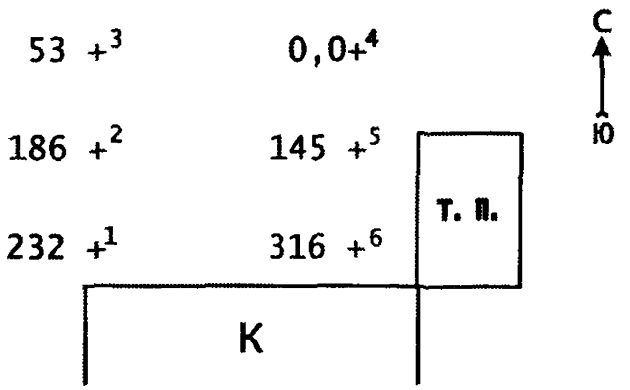


Рис. 29. Схема расположения фундаментов с относительными отметками опорных плит: 1-6 – номера колонн; относительные отметки, мм; к – кузница; т.п. – трансформаторный пункт.

на разных отметках. Наибольшие отметки опорной плиты установлены у колонны в северном, постоянно затемненном углу между кузницей и трансформаторным пунктом (см. схему на рис. 29). Здесь из-за очистки снега, влияния асфальтированной площадки и отмосток на промерзание грунта, в сочетании с запоздалым оттаиванием сверху, фундаменты оказались как бы во «взвешенном» состоянии с отрывом от оттаявшего под подошвой грунта, способного к оплыванию в образовавшийся зазор. В таких условиях самые затененные фундаменты после оттаивания оседали уже на частично оползший грунт. При ежегодном подъеме вмерзшего фундамента и его запоздалом не полном оседании произошло постепенное поднятие. В результате перепад отметок между колоннами 6 и 4 составил 316 мм. За аналогичным явлением (ежегодный подъем зимой без опускания при оттаивании), велись наблюдения в течение 12 лет. Объектом была асбестоцементная труба, установленная в грунт на глубину 3,0 м, которую ежегодно выдергивало на 3-5 см, и верх которой поднялся в сумме на 45 см.

Ежегодные наблюдения (в течение 7 лет) за характером влияния теплового режима здания на состояние отмостки под «навесом» столовой «Юность» показали, что на некотором расстоянии от стены на поверхности асфальта не образуется ледяной корочки. Здесь снег и лед постоянно оттаивают на ширину 20-40 см под влиянием теплового потока от здания.

По многочисленным проведенным наблюдениям, отслаивание защитного слоя цоколей тесно связано с влиянием промерзания грунта под твердыми (асфальтными или бетонными) отмостками. Наибольшие разрушения из-за подъема твердого покрытия отмостки наблюдаются после искусственного оголения от снега и в период снеготаяния. Также установлено, что меньше разрушается защитный слой цоколей при устройстве дерновых отмосток, которые обладают эстетичностью, экологичностью и другими полезными свойствами.

Глава VII. ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ВОЗВЕДЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

7.1. *Ленточные и отдельные фундаменты*

Для изучения влияния сил морозного пучения, промачивания и т.п. факторов в условиях длительной эксплуатации были вскрыты фундаменты некоторых зданий и собраны сведения о подобных же работах, выполненных ранее [13].

Одно из старинных зданий кирпичной кладки – церковь Троицы в селе Елово Ярского района, расположено на правом коренном берегу реки Чепца. Церковь построена в 1795 году. Вскрытие фундамента с северной стороны под наружной стеной колокольни показало, что фундамент бутовый (песчаник) на известковом растворе сложен из двух слоев: первый снизу толщиной 40 см состоит из мелких обломков песчаника и кирпича и уложен на коренных твердых верхнепермских алевритах VIII типа грунтовых оснований; второй верхний слой фундамента состоит из крупных плитообразных обломков песчаника общей толщиной 35 см. Фундамент заложен на глубину 0,75 м и изолирован от кирпичной стены слоем известкового раствора. Толщина стен и ширина фундамента не установлена. Деформаций стен, связанных с морозным пучением или промачиванием грунтов, не обнаружено. В советское время помещение церкви использовалось как склад.

Церковь в селе Мостовое Каракулинского района возведена предположительно зодчим С.Е.Дудиным [16]. Дата сооружения не установлена, дата на чугунных плитах пола – 1816 год. Фундаменты вскрыты под наружной стороной северной стены возле алтарной части, где глубина заложения составила 1,07 м. Фундамент бутовый, сложен из плит известняка и песчаника на известковом растворе. Между фундаментом и кирпичной кладкой шириной 97 см имеется гидроизоляционный слой из известкового раствора. Ширина фундамента 133 см. Он возведен на верхнепермских изоглинах и алевритах, т.е. на грунтовом основании VII типа. Здание расположено на невысоком коренном берегу.

В городе Глазове по улице Энгельса, 37 (типография) вскрыт фундамент двухэтажного здания. Фундамент заложен был предположительно в начале XX века на глубину 1,5 м в аллювиально-делювиальных суглинках четвертичного возраста, мощность которых более 8 м, т. е. на грунтовом основании II типа. Фундамент из оплавленных кирпичей отделен от кладки толстым слоем известкового цемента. Деформаций здание не имеет.

Здание Совета Министров УАССР (угол улиц Советская и М.Горького, г. Ижевск) сооружено в 1843-45 годах по проекту А.П.Семенова как административное учреждение. В 1932-33 годах это двухэтажное кирпичное здание было надстроено до четырех этажей. Толщина его стен 1,07 м, фундамент вскрыт с торца наружной стены (западный фасад по улице Советская). Вся высота его 2,2 м, он состоит из плит известняка и песчаника на известковом растворе при ширине подошвы 1,4 м. Имеется уступ высотой1,6 м, на котором уложена отмостка из тесаных плит песчаника шириной 0,3 м. Заглубленная часть фундамента составила 1,6 м. Подстилающие грунты под фундаментом VII типа – плотные алевриты и изоглины. Здание расположено на высоком берегу реки Иж. Грунтовые воды глубже 4 м. Деформаций стен не имеется.

Здание денежной кладовой, ныне музей Машзавода, сооружено в 1804 году. Располагается оно на крутом коренном берегу реки Иж напротив описанного выше здания Совмина. Здание одноэтажное, толщина стен 1,07 м, фундамент глубиной 1,0 м и шириной 1,35 м – бутовый из плит песчаника и известняка. Подстилающие грунты VII типа грунтовых оснований – слабосцементированные песчаники, грунтовые воды глубже 4 м, деформации здания не обнаружено.

Церковь в селе Вавож построена в 1835 году на правом берегу реки Ува у места впадения ее в реку Вала. Грунты VII типа оснований – верхнепермскиие мергели и изоглины с включением щебня известняка, грунтовые воды глубже 4 м. Фундамент бутовый из плит известняка с глубиной заложения 0,35 – 1,4 м при ширине от 1,77 до 2,71 м, толщина стен от 1,1 до 1,84 м. Здание обследовано институтом «Удмуртгражданпроект» в 1957 году. Деформаций стен не обнаружено [6].

Здание аптеки по улице Красной, 149 в городе Ижевске. Здание двухэтажное, кирпичное, толщина стен 1,0 м; фундаменты из боя кирпича на известковом растворе заложены на глубину 1,1 м при ширине 1,2 м. Здание сооружено до 1900 года (со слов местных жителей). Фундаменты устроены на верхнепермских изоглинах VII типа грунтовых оснований. Грунтовые воды глубже 4,0 м. Западный двухэтажный кирпичный пристрой с проветриваемыми сенями имел фундамент с глубиной заложения 1,1 м на четвертичной супеси мощностью 0,9 м, залегающей на коренных верхнепермских изоглинах. Это обстоятельство привело к пучению увлажненных супесей и к деформации пристроя. Сейчас это здание снесено.

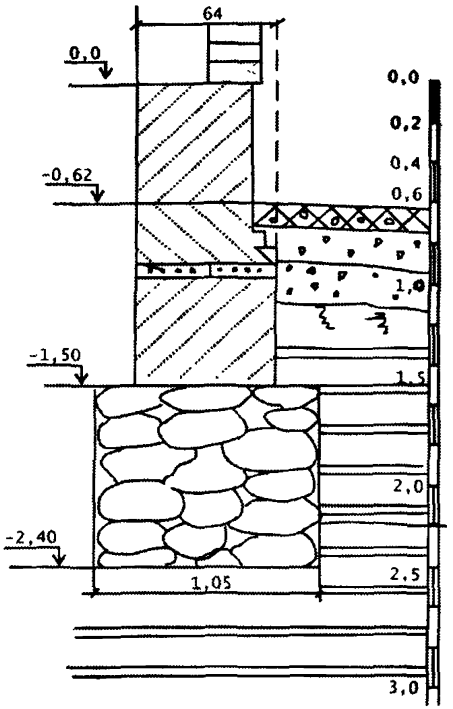


Рис. 30. Старинный двухэтажный особняк, ныне пекарня по ул. Бородина, ниже ул. М. Горького.

Двухэтажная школа №26 по улице Телегина, 24 в городе Ижевске выстроена в 1926 году. Фундамент бутовый, заложен на глубину 1,55 м и шире стен на 0,4 м. Грунты под фундаментом аллювиальные супеси четвертичных отложений реки Иж, относящиеся к III типу грунтовых оснований. Следов деформирования не имеет.

Четырехэтажная школа №22 по улице Красноармейской, ныне медучилище. Фундамент в северо-западном углу бутовый, заложен на глубину 2,0 м с уступом в нижней части высотой 0,8 м и шириной 1,4 м по подошве и 1,0 м по верху. Под фундаментом залегают верхнепермские изоглины, VII типа грунтовых оснований, очень прочные. Фундамент оголен в

разных частях на глубину 0,5-1,0 м при реконструкции трамвайных путей в 1978 году. Заглубленная часть фундамента составила от 1 до 1,5 м. Здание следов деформирования не имеет.

Ложевая фабрика «Арсенал», фундаменты бутовые высотой 1,8 м с высотой стула 1,07 м. Фундаменты под внутренние металлические колонны устраивались в связи с надстройкой второго этажа в 1897 году. Под фундаментом залегают верхнепермские выветрелые конгломераты и песчаники VII типа грунтовых оснований.

Спортзал завода «Нефтемаш» (1971 г.) на коренном склоне долины р. Позимь имел разную глубину и отметки заложения фундаментов (см. рис. 31). Основанием являлись коренные песчаники на глинистом цементе с $R_0 > 0,6$ МПа. Фундаменты бутовые, стенки цоколя из монолитного бетона толщиной 0,35 м без анкерного крепления и поперечных связей. Подсыпка под полами цокольной части – из местного грунта толщиной до 2,5 м. Стена, при подвижке осыпи до устройства подпорной стенки, изогнута и смещена, что привело к разрыву поперечных стен. Стены из силикатного кирпича низкого качества стали отслаиваться по внешней версте и рассыпаться под действием СП и Да (снижение прочности и добротности).

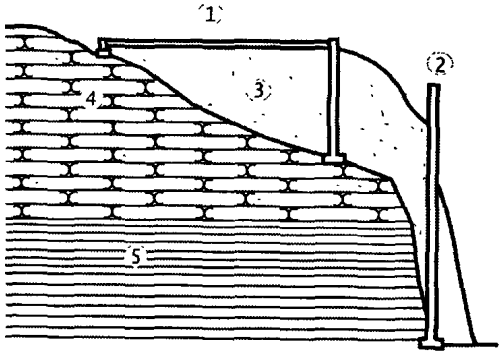


Рис.31. Разрез по поперечному профилю:
1 – габариты спортзала; 2 – подпорная стенка;
3 – насыпной грунт; 4 – песчаник; 5 – изоглина.

Дымовая труба котельной автозавода высотой 80 м (100 м по проекту) возведена в 1968 году на коре выветривания грунтовых оснований из верхнепермских глин VII типа с расчетным давлением 0,45 МПа по подошве фундамента. Деформаций, связанных с осадками, здесь не отмечалось.

Шестиэтажная вставка промышленного корпуса в г. Ижевске по ул. Красной устроена на отдельных фундаментах, опертых на верхнепермские глинистые отложения VII типа грунтовых оснований. Расчетное давление по подошве фундамента здесь составило 0,6 МПа. Здание эксплуатируется с 1971 года, деформаций стен нет.

Свинарник совхоза «Каракулинский» возведен на делювиальных макропористых суглинках четвертичного возраста, относящихся ко II типу грунтовых оснований. Фундаменты ленточные до глубины 2,0 м. Здание имеет значительные трещины торцевой стены, которые возникли при устройстве жижесборника в непосредственной от нее близости. После засыпки его осадки прекратились.

Обследованием зданий в городах и селах республики, перечень которых занял бы большой объем, установлено, что наиболее значительные осадки приходятся на здания, сооруженные над погребенными оврагами и долинами, в делювиальных супесях и

макропористых суглинках, а также в аллювиальных и болотных отложениях пойм, т. е. в грунтовых отложениях II, III, VI, X типов. Здесь же отмечаются значительные деформации от влияния вновь сооружаемых зданий, например, в промышленных корпусах и домах по правобережью реки Карлутка. В то же время в зданиях, возведенных на верхнепермских грунтах VII и VIII типов оснований, таких явлений не отмечается. Так, например, фундамент части здания на углу улиц Пушкинской и Шумайлова на грунтовом основании VII типа был откопан полностью до подошвы и ниже и в таком виде простоял всю зиму 1977-78 годов, когда морозы достигали 40-45°С. Деформаций здания при таких морозах не было обнаружено.

7.2. Забивные деревянные сваи и их долговечность

В Удмуртии первые промышленные здания и сооружения середины XVIII и начала XIX веков строились на деревянных сваях вблизи рек.

В Ижевске первые деревянные сваи, забитые в 1760-63 годах при сооружении плотины, временно оголяются при спуске воды на два и более метра. Затоплены же они были в 1824 году после подъема воды в пруду на одну сажень (2,13 см).

На забивных деревянных сваях архитектором С.Е.Дудиным сооружен в 1809-12 годах промышленный корпус с четырехэтажной центральной частью и башней высотой 50 м. Общая длина его 350 м. Сейчас это главное историческое здание Ижевска (корпус № 1 «Ижмаша»). Проведенное в 1898 году исследование грунта посредством буровых скважин показало [16, 31], что «... наносной грунт залегает от поверхности двора на 8 футов (2,4 м) глубины, после начинается иловатый песок и только на глубине 25 футов (7,6 м) начинается хрящевый песок, более плотный». Под четырехэтажной частью высотой 20,23 м длиной 113 м (без температурно-усадочного шва) сваи забиты на глубину 2,5 аршина и 2,5 сажени (1,77 и 5,33 м). Ростверк (деревянные лежни) обнаружен на глубине 1,5 аршина (1,7 м). Бутовая кладка фундамента сделана на известковом растворе. Из чертежей 1836-1839 годов видно, что сваи располагались по 4 в ряд. После пожара для укрепления фундамента было забито 579 круглых деревянных свай длиной от 3 до 4 саженей (6,4-8,5 м) и толщиной от 4 до 6 вершков (17,6-26,4 см). Вследствие размывания водой задней стенки, просачивающейся из водоспускного канала, фундамент здесь неравномерно осел, а стена отклонилась в сторону двора. По имеющимся чертежам неправильностей видно, что в четырехэтажной части «...наибольшее уклонение стены от вертикали было 4 вершка» (17,6 см) и «очертания неправильно осевшего цоколя тоже в 4 вершка» (17,6 см). Обследование 1898 года показало: «...что фундамент осел неравномерно с прогибом до 5 $^{3}/_{4}$ вершка» (25,3 см). На стенках здания и в арках появились волосяные трещины. Вследствие принятых мер движение стены и осадка фундамента были остановлены, о чем свидетельствовали исследования и замеры 1901 года (см. рис. 32, 33).

В период с 1990 по 1992 год Ю.А.Ельцовым, Н.И.Невзоровым, В.А.Кудрявцевым и Г.И. Яковлевым проводилось комплексное обследование корпуса №1. Было установлено, что четырехэтажная часть корпуса расположена над погребенной старицей реки Иж, пересекая ее под острым углом. Северо-западное крыло корпуса находится за пределами старицы. Ложе старицы заполнено иловатыми супесчано-глинистыми, очень слабыми отложениями III типа грунтовых оснований, достигающими до 5,0 метров толщины (см. рис. 34). Установлено, что деревянные сваи были забиты вручную в шахматном порядке на глубину от 1,77 до 5,33 м и связаны поверху деревянными продольными ряжами (ростверком) с поперечными связями. Расстояние между осями ряжевых бревен 0,6 м, между сваями под ряжами – 0,8 м. Бутовый фундамент из местного песчаника на

известковом растворе устроен на ряжах. Ширина его 2,1-2,2 м. Позднее, в разные периоды с 1830 по 1901 год, проводились работы по усилению фундамента путем его уширения тоже из деревянных свай и примыкающего с двух сторон (внутренней и внешней) бутового фундамента.

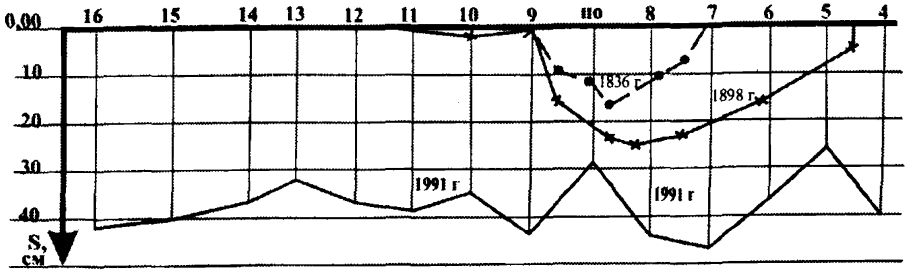


Рис. 32. Прогиб фундамента под центральной частью главного корпуса Ижевского завода по замерам арок оконных проемов I этажа дворового фасада.

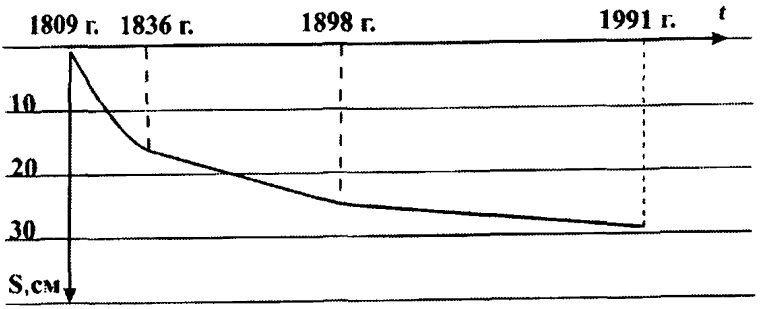


Рис. 33. График осадки фундамента под башней главного корпуса Ижевского завода.

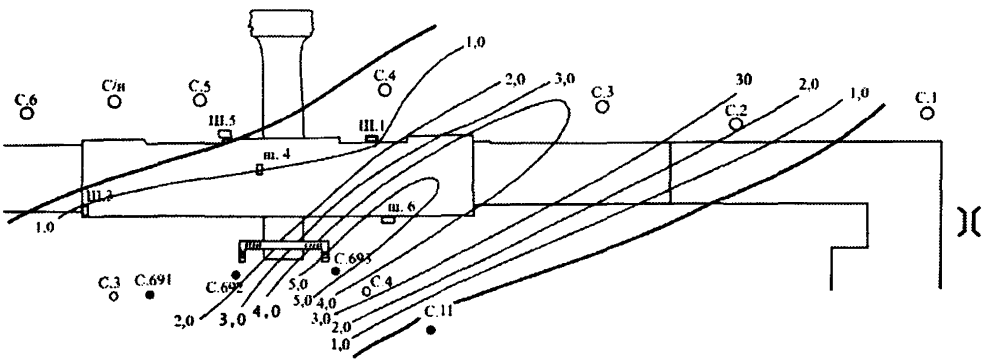


Рис. 34. План-схема залегания погребных старичных иловато-суглинистосупечаных отложений под корп. I п. о. «Ижмаш»:

○ скважины «Архпроекта» *▰ шурфы и сважины «Кар»*

● скважины п/я А-3307 *изотахи (линии равной толщины старичных отложений)*

погребный мост через заброшенный водотворной канал.

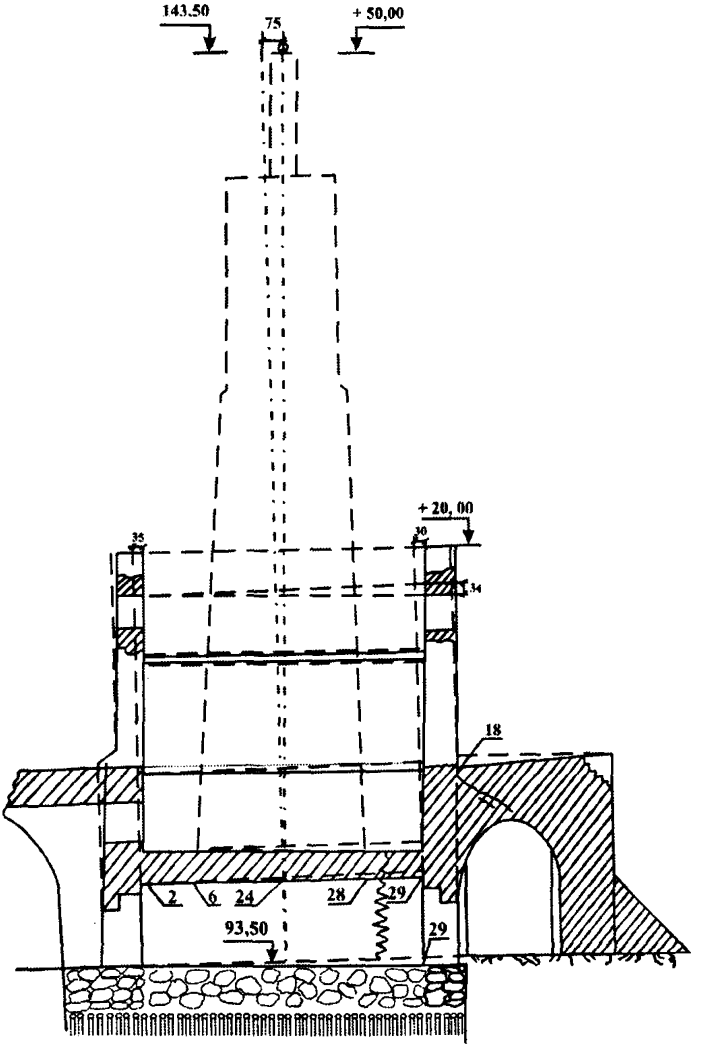


Рис 35. Крены и осадки башенной части главного корпуса, см.

По архивным материалам и выполненным исследованиям было прослежено развитие осадки стен корпуса от первых замеров в 1836 году до последних в 1991 году [16].

Замеры относительных осадок в 1836 и 1898 годах осуществлялись нивелировкой подушек оконных проемов первого этажа, в 1991 году – нивелировкой их сводов оставшихся без изменения и неповрежденными после многочисленных ремонтных работ. Одновременно были измерены крены, прогибы и выгибы наружных стен, перекосы внутреннего арочного свода под башней. По этим замерам максимальный крен стен достиг до 2^0 34' или до 34 см. Крен башни составил 0^0 51'15", т. е. отклонение верхнего шпиля от центра основания составило 74,8 см (см. рис. 35).

Выполненное сопоставление показывает, что наибольшие деформации здания пришлись на период с 1898 по 1991 годы. Этому в первую очередь способствовала прокладка

подземных коммуникаций на глубинах двух и более метров с дополнительным водопонижением, когда были оголены деревянные ряжи и сваи. Причем водопонижение было не разовым, а повторялось при ремонтных работах. Кроме того, сказывались динамические воздействия от соседнего кузнечного цеха, при забивке шпунта на плотине и от возросшей интенсивности движения автотранспорта по плотине рядом с корпусом. В немалой степени этому способствовало ослабление прочности древесины сосновых свай и ряжей. Визуально сваи выглядели вполне удовлетворительно, наружный гнилостный слой составил 2-2,5 см. Древесина свай и ряжей по цвету похожа на свежую, но, полежав на воздухе более одних суток, она тускнела и приобретала темноватый оттенок. Результаты испытаний древесины ряжей показали значительное снижение ее прочности со временем (см. табл. 26).

Таблица 26

Показатели прочности	Ед. измер.	Датировка испытуемой древесины, в годах			
		1991	1900-01	1808-10	% к 1991
Сжатие вдоль волокон	кг/см^2	616	249	135	22
Скол вдоль волокон	кг/см^2	64	48	25	39
Изгиб поперек волокон	кг/см^2	1125	585	270	24

На деревянных сваях сооружены многие промышленные корпуса дореволюционного периода в городах Воткинск и Ижевск. Это прежде всего заводские корпуса и здания, расположенные в пойменной части рек Вотка и Иж, т.е. на грунтовых основаниях III и VI типов. Это обстоятельство следует всегда учитывать при реконструкции, так как при откопке таких фундаментов или при проходке вблизи траншей, а также при водопонижении эти здания могут получить значительные деформации. Такие явления неоднократно отмечались как на Воткинском, так и на Ижевском заводах.

7.3. Железобетонные забивные сваи

Массовое строительство и переход на крупнопанельные здания в Ижевске и Республике (с 1960 г.) и благоприятные инженерно-геологические условия позволили широко использовать короткие сваи длиной до 6 м. За весь более чем полувековой срок строительства на коротких сваях в грунтовых основаниях I, IV и IX типов не было зафиксировано деформаций зданий, связанных с осадками оснований. За это время на коротких сваях было выстроено много зданий, в том числе 9 и 12 этажей, список которых занял бы довольно большое место. Так, девятиэтажный кирпичный жилой дом по улице Коммунаров, 361 в Ижевске устроен на высоком растверке на сваях длинной 3-4,5 м, забитых в верхнепермские изоглины на глубину 2-3 м, включая кору выветривания. Здание нормально эксплуатируется, деформаций, связанных с осадкой, не имеется.

Жилые дома 12 этажей по улице Воткинское шоссе также сооружены на коротких сваях в грунтовых основаниях I и IX типов.

Большинство зданий в 5 и 6 микрорайонах Автозавода города Ижевска высотой 9 и 12 этажей расположены на участках развития верхнепермских отложений, т.е. в грунтовых основаниях I и IX типов, также возведены на коротких сваях.

Короткие сваи особенно целесообразны при неглубоком (до 5,5 м) залегании верхнепермских отложений, так как применение длинных свай здесь не дает эффекта, ибо

лобовое сопротивление острия значительно больше сил трения по боковой поверхности, тогда как число ударов значительно возрастает с каждым метром погружения. Ряд выборочных наблюдений показывает, что для заглубления пятиметровой сваи на 0,5-1 м в верхнепермские грунты достаточно 100-250 ударов дизель-молота с ударной частью 1,8 тонн, тогда как для заглубления до 3-5 м уже необходимо 450-700 ударов. Прирост же несущей способности при этом происходит в основном за счет бокового трения и не превышает 5-10 %, но при этом материал сваи от большого числа ударов разрушается в большей степени. Например, свая № 27 сечением 0,3 х 0,3 м была заглублена в верхнепермские изоглины с 3,8 до 5,8 м, т.е. на 2 м. Для ее забивки потребовалось 588 ударов дизель-молота С-268 с ударной частью 1,8 тонн, из них на прорезку четвертичных грунтов было затрачено 105 ударов. Выполненные расчеты подтверждают, что число ударов не дает прямо пропорционального увеличения несущей способности, а поэтому следует ограничить число ударов на сваю до 200 при забивке коротких свай в верхнепермские грунты.

Для установления связи числа ударов n от прочности грунтов было выполнено сопоставление затраченного числа ударов на один метр погружения сваи сечением 0,3х0,3 м дизель-молотом 1,8 тонн в зависимости от величины распора P_q, в МПа, что дает возможность приближенно определять число ударов на один метр погружения по формуле:

$$n = 20\,P_q. \qquad (49)$$

Исходя из принятого ограничения числа ударов (не более 200) погружение свай в верхнепермские грунты следует доводить, согласно (49), до грунтов с распором не более 10 МПа, если ниже острия их прочность не снижается.

Следует отметить, что в последнее время наблюдается необоснованная тенденция увеличения глубины забивки свай, а это приводит, как свидетельствует Ф.И.Сергеев [29], к тому, что под жилые девятиэтажные дома у кинотеатра «Ударник», такое же общежитие по улице Воровского и под многие другие здания сваи оказывались недозабитыми до проектных отметок на 3-4 м, их пришлось срубить.

Ограничение глубины погружения свай позволяет обходиться без их срезки, т.е. забивать до заданной отметки с опиранием на грунты коренной основы или более прочные прослои с $P_q > 10$ *МПа*.

7.4. Буронабивные фундаменты и сваи-колонны

К буронабивным фундаментам относятся фундаменты, образованные заполнением бетоном или сборными блоками выработок в грунте, выбуренных специальными механизмами на глубины до 3 м.

Буронабивные фундаменты нашли широкое применение в сельском и малоэтажном гражданском строительстве, например, при сооружении животноводческих комплексов в ряде районов республики в грунтовых основаниях I, II, IV, V, VII и VIII типов.

На сваях-колоннах были сооружены несколько животноводческих комплексов и других помещений. Сваи-колонны на всех объектах, за редким исключением, забивались с недопустимыми отклонениями по вертикали и в плане, чему способствовала неоднородность грунта и недостаток опыта у механизаторов. Исходя из характеристик свай-колонн и области их применения следует, что они могут быть применимы лишь на отдельных объектах, где основания сложены однородными четвертичными отложениями, прочностные свойства которых не могут изменяться во времени. Это обстоятельство делает их малопригодными для массового применения.

7.5. Набивные сваи в штампованном ложе

В Ижевске сооружен ряд зданий на набивных сваях в штампованном ложе, испытания которых свидетельствуют, что в песчаных грунтах несущая способность их ниже, чем забивных призматических свай. В глинистых же грунтах наоборот. Это объясняется большей прочностью верхней части разреза, где глинистые грунты в зоне аэрации более высушены. При замачивании этих грунтов, например, весной эти «преимущества» могут не проявиться.

Возможность снижения несущей способности набивных свай при увлажнении грунтов требует дополнительного исследования.

7.6. Технико-экономическое сравнение некоторых типов фундаментов в сельском строительстве

Одна из отличительных особенностей сельского строительства – это малые нагрузки на основание от веса зданий и сооружений, не превышающих 15 тонн на 1 погонный метр под стенами и 60 тонн на колонну [11]. Небольшие нагрузки на основание позволяют ограничить число типов фундаментов для сельских строек.

Для выбора наиболее рационального типа фундамента произведем экономическое сравнение затрат в ценах 1980 года на сооружение фундаментов на примере сравнения сметной стоимости для коровников на 200 голов в двух колхозах Юкаменского района, сооруженных в одинаковых инженерно-геологических условиях на верхнепермских изоглинах.

Экономия, без учета накладных и плановых накоплений и других издержек, при сооружении буронабивных фундаментов составила: 27 992 – 8 517 = 18 775 руб.

Выполненное в работе [13] технико-экономическое сравнение свидетельствует, что короткосвайные и буронабивные фундаменты снижают стоимость их строительства на 20-50 %, трудоемкость в 1,5-2 раза, объем земляных работ в 2-8 раз, расход бетона на 20-60 %, вес конструкции в 1,5-2,5 раза. Так, например, переход на короткие сваи при строительстве

Таблица 27

Виды работ, материалы	Сметная стоимость строительно-монтажных работ, в руб.	
	колхоз «Большевик», буронабивные сваи	колхоз «Мир», ленточные фундаменты
Землянные работы	771	1 299
Фундаменты	7 746	25 993
Итого:	8 517	27 292

блока по откорму свиней в совхозе «Каракулинский» позволил сэкономить более 7000 рублей в масштабе цен до 1981 года.

7.7. Некоторые наблюдения за осадками зданий, отмостками и другими частями зданий

В период с 1977 по 1978 год на строящихся коровнике и яслях-детсаде в совхозе «Каракулинский» были проведены наблюдения за осадками. Наблюдения велись нивелированием III класса по заложенным реперам в стенах строящихся зданий путем проложения замкнутого полигона от заложенных рядом реперов.

На обоих объектах фундаменты буронабивные под стенами и сборные башмаки под колоннами коровника [13].

Осадки здесь оказались в 2-4 раза меньше предельно допустимых. Максимальные осадки были зарегистрированы под колоннами коровника и составили 44-49 мм. Под стенами яслей-детсада – 14-15 мм.

Дом № 14 по улице Авангардная, расположенный одной частью на коренном склоне, а другой на оползневом склоне, постепенно расходится по усадочно-температурному шву с креном в сторону реки Карлутка. Здесь осадка южного торца достигла 18 см за последние 15 лет, а шов раскрылся в пределах до 15 см по карнизу 5 этажа, достигнув угрожающих размеров. Крен южного крыла продолжается.

Корпус 2 ИжГТУ. В результате неравномерной осадки и искривления внутренней стены, произошедшей после промачивания грунта в подвале и перегрузки чердачного перекрытия, произошло опускание с прогибом балок, достигшее 6 см. Неравномерности осадок способствовали два температурно-усадочных шва.

Корпус 3 ИжГТУ между блоками «Б» и «В» также имеет температурно-усадочный шов, который в период с 29.10.86 по 17.06.87 г. раскрылся с 2 до 7 мм.

На бытовых главного корпуса Ижевского автозавода в период строительства были обнаружены значительные деформации ригелей сборного каркаса, смонтированного на столбчатых фундаментах в грунтовых основаниях VII типа. Например, по оси А1 ряд 34 они достигли на 12.05.68 г. максимальной величины 105 мм. Относительная разность осадок между соседними фундаментами здесь составила 0,01, т. е. величины значительно большей, чем допустимая. Деформации фундаментов были вызваны морозным пучением и последующим оттаиванием насыпного грунта, оказавшегося по небрежности под подошвой фундамента. После усиления фундамента подведением под подошву металлической сетки и бетонирования периметрической части подошвы и сбоку, осадки его прекратились и в сумме составили 114 мм.

Обзор материалов и анализ осадок свай при статических испытаниях свидетельствуют о малых размерах осадок на верхнепермских грунтах, являющихся надежными грунтовыми основаниями.

В старинных кирпичных зданиях в качестве гидроизоляции стен от фундаментов использовалась береста. В Ижевске это «Дом композиторов» и «Дом учителей» на улицах Ленина и Пастухова. В Сарапуле дома № 146, 158, 160 по улице Раскольникова, дома № 40 и 41 по улице К.Маркса и др. У этих домов, простоявших более века, состояние берестяной прокладки стен удовлетворительное.

Старинные церкви и промышленные корпуса (корпус 1 «Ижмаша», «Арсенал» и др.) из-за больших объемов берестяную гидроизоляцию использовать не имели возможности. Здесь стены от фундамента изолировали толстым слоем известкового раствора (2-3 см). Однако такая изоляция хуже защищала стены от капиллярного увлажнения, чем береста.

На основании векового опыта и в соответствии со СНиП 02, 03 вокруг зданий должна устраиваться отмостка, материалом для которой служит местный грунт.

Отмостка предназначена для:

- ската дождевых и талых вод;
- защиты от промерзания стен подвалов, цоколей и подполий;
- декоративно-зеленого оформления периметра здания.

По СНиП, материал покрытия отмостки не регламентируется. Исходя из предназначения и многовекового, в том числе местного, опыта, наиболее рационально дерновое покрытие отмосток с насаждениями кустарников (вечнозеленые: можжевельник и туя). Твердое

покрытие отмосток, по проф. М.Д.Бойко, служит для отвода воды, которая может быть только в местах водослива, т.е. не повсеместно.

Из многолетних наблюдений и исследований, выполненных Ю.А.Ельцовым совместно со студентами строительного факультета ИжГТУ, покрытие отмосток слоем асфальта, бетона или булыжником, в условиях Удмуртии не отвечает назначению отмостки, т.к. способствует:

- увлажнению стен при отскоке капель дождя;
- оголению от снега и увеличению промерзания грунта вокруг стен фундамента;
- уменьшению испарения влаги летом и, как следствие, увлажнению грунта;
- конденсации влаги под твердым покрытием и увеличению морозного пученья грунта, с одновременным разрушением облицовочного слоя цоколя в зимний период;
- скоплению и проникаию поверхностных вод в заглубленные части здания, при довольно частых проседаниях грунта пазух;
- увеличению капитальных и эксплуатационных затрат;
- ухудшению эстетического восприятия из-за отсутствия естественной зелени;
- возникновению менее благоприятной экологической обстановки из-за перегрева с южной стороны и развитию паразитирующих мхов и лишайников с северной.

Дерновая отмостка с кустарниками во многом устраняет эти недостатки или полностью исключает их для зданий с внутренним или организованным стоком воды с крыш. Так, все здания дореволюционного и частично довоенного времени имели дерновую отмостку и хорошо сохранились. Дома, выстроенные немецкими специалистами в Ижевске и Чайковском, имеют дерновую (с посевом трав) отмостку и успешно эксплуатируются.

Двухэтажные 24-квартирные дома в деревне Казмаска из-за твердого покрытия отмосток с обратным уклоном пришли в аварийное состояние – отвалились лоджии и затопились подвалы. По этим же причинам отвалились пристроенные тамбуры входа и выхода у многих зданий («Удмуртгражданпроект», цирк, и др.).

Кирпичный одноэтажный детский сад в деревне Казмаска имеет дерновую отмостку, состояние стен удовлетворительное.

Общежитие, кирпичное, 5 этажей, в селе Шаркан постройки 1975 года успешно эксплуатируется, имея дерновую отмостку.

В деревне Шаберды из пяти жилых одноэтажных кирпичных домов по центральной улице три имеют бетонные отмостки и два из них деформированы.

Следовательно, в условиях Удмуртии наиболее оправдано устройство дерновых отмосток. Твердые покрытия следует применять лишь в необходимых случаях.

Глава VIII. ОПОЛЗНИ И УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ

8.1. Признаки оползневых проявлений

В Удмуртии оползни развиты на крутых склонах по берегам всех крупных рек, особенно на р. Каме. Причиной возникновения оползней являются как природно-геологические факторы, так и антропогенное влияние.

Природные признаки оползней широко известны: сползшие участки (так называемые «цирки»), трещины скола, наличие «пьяного» леса и др.

Признаки антропогенного влияния фиксируются в основном по деформациям зданий и сооружений.

В Удмуртии встречаются как свежие (молодые), так и древние («доисторические») оползни, проявляющие активность и в современных условиях. Нередки скрытые формы оползневых подвижек, особенно на участках древних погребенных русел мелких рек и речушек, в местах их глубокой врезки.

Доисторические оползни встречаются по левому крутому берегу реки Кама на всем ее протяжении в пределах Удмуртии. Время и причины их возникновения детально не изучены и во многом не ясны. К числу таких оползней можно отнести оползневый склон возле деревни Яромаски и на базе отдыха «Крутые горки» под деревней Макарово.

На Яромасском многоярусном оползневом склоне (общая длина более 260 м, перепад высот 66 м) угол наклона подошвы в нижней пологой части массива длиной 207 м достигает 6^0, и 47^0 – в верхней части на границе с коренным неподвижным склоном. Уклон поверхности составил здесь 12^0. Внешних признаков оползневых проявлений ранее здесь не отмечалось. После прокладки газопровода «Уренгой-Ужгород» оползень «ожил», начались подвижки, приведшие к разрыву труб и взрывам газа в 1987 и 1999 годах. В это же время были отмечены катастрофические подвижки на «Крутых горках». Двенадцатилетний цикл подвижек совпал по времени с теплыми зимами, повышенным снежным покровом и спокойным снеготаяньем.

На древнем оползне «Крутые горки» [15] катастрофические подвижки были в 1987 году. Они привели к разрыву и проседанию дороги, склада, столовой и отразились на многих других сооружениях. Оползневый коренной склон здесь сложен верхнепермскими изоглинами с прослоями алевритов и глинистых мергелей (см. рис. 36).

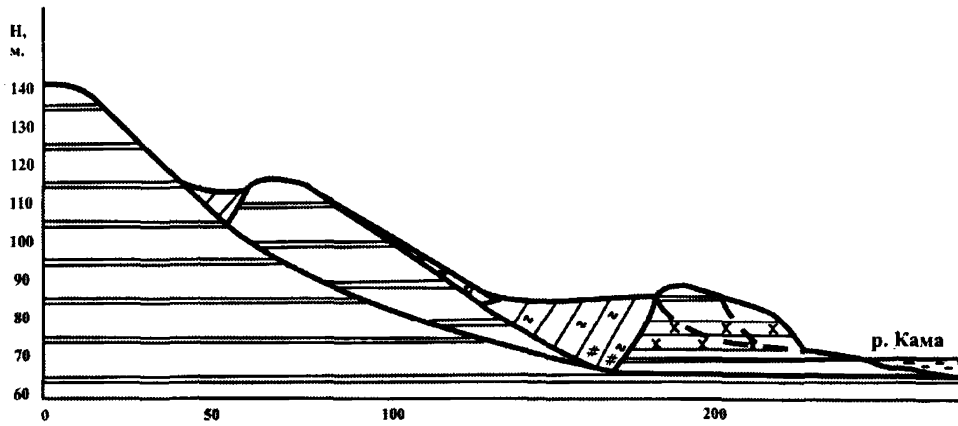


Рис. 36. Оползневый склон "Крутые горки".

Верх коренного берега возвышается над меженним урезом реки Кама на 78-80 м. Длина оползня 350 м, ширина 240 м без учета подводной части. Оползень двухярусный с общей древней поверхностью скольжения. По данным геодезических съемок 1975 и 1988 годов, отдельные объекты на оползне сместились на 5 м с опусканием до 1 м. По результатам геодезических измерений в 1988-90 годах, выполненных Н.И.Невзоровым и А.А.Невзоровой, отдельные части оползня за этот промежуток времени сместились в плановом и высотном положении в основном в сторону понижения. Но отдельные пункты наблюдений испытали подъем до 25-30 см, по-видимому, по причине подклинивающего воздействия вышерасположенных частей отдельных блоков оползня.

Определенный интерес представляет датировка возникновения оползня «Крутые горки», его подвижек, так как систематических наблюдений за ним не производилось. По искривлению молодых и вековых елей (см. рис. 37) и количеству годовых колец в срезе изгибов выделяются периоды 40-45, 20-25 и 10-15 лет. Эти сроки вполне увязываются с внешними (антропогенными) воздействиями. Первый – с началом интенсивного освоения и застройки оползневого уступа сооружениями базы, с интенсивной разработкой гравия в русле Камы и производством взрывных работ по углублению дна фарватерной части на Макаровском перекате, испытывающем влияние тектонического поднятия, зафиксированного геологами. Второй – с началом эксплуатации Воткинского водохранилища и ГЭС. Третий – с подрезкой склона и отсыпкой грунта при устройстве дороги на базу. Время зарождения оползня нами относится на 10-15 тысяч лет назад, по скорости заполнения осадками нижней расщелины (см. рис. 36). По опытным данным, эта



Рис. 37. Искривление елей - "летопись оползания".



Рис. 38. Ул. Ракетная. Крен подпорной стенки.

скорость составила 2-3 мм в год. Она была определена по толщине наносов, образовавшихся за 3 года наблюдений на специальной площадке. Началу оползня, по нашим предварительным данным, способствовал глобальный пожар в междуречии Вятки и Камы, уничтоживший лес, мамонтов и шерстистых носорогов. Исчезновение лесов привело к быстрому таянию снега и, как следствие, к интенсивным паводкам с подмывом крутых склонов, лишенных защиты леса. О глобальном лесном пожаре свидетельствуют обгорелые поваленные деревья, погребенные под трехметровым слоем пылеватых суглинков делювиально-эолового происхождения.

Погребенный гумусовый слой с обугленными стволами был вскрыт в вершине растущего оврага на водораздельном склоне «Крутые горки» у реки Макаровка, в 300 метрах от верхней бровки оползневого склона. Слой торфа на дне нижней расщелины (см. рис. 36) после пожара был погребен под наносами с оголенного склона. За пределами оползневых склонов на Каме погребенный гумусовый слой был обнаружен в Ярушкинском логу Ижевска тоже под трехметровом слоем пылеватых суглинков.

Исчезновение еловой пыльцы и значительное сокращение сосновой в торфоболоте Варзи-Ятчи на глубине 4,5-5,5 м [33] подтверждают гибель хвойного леса. Приведенные факты позволяют предположить, что катастрофические последствия (оползни, гибель леса, животных) явились следствием глобального лесного пожара на обширной территории.

Оползневые явления приводят к значительным разрушениям в застроенных местностях. При этом наибольшее количество разрушений зданий и сооружений было зарегистрировано в Ижевске и Сарапуле.

В Ижевске оползни проявляются на левом склоне реки Подборенка, например, у «Общества слепых», где дважды был разрушен ангар; на левом склоне реки Карлутка (крен жилого дома по ул. Авангардная, 14 и в других местах); по правому склону реки Позимь (спортзал на ул. Ракетная, где из-за сотрясений от забивки свай под соседним домом произошло сползание покровных отложений вместе с фундаментами южной стены). В местах скрытого перехода коренного склона в погребенном ложе реки Карлутка отмечены деформации ряда зданий, например, в виде расширяющихся температурно-усадочных щелей-швов (Республиканский архив и некоторые дома по соседству). Подобного рода деформации могли быть вызваны подвижками скрытого оползня – скольжения покровных отложений по крутому коренному склону при загрузке поверхности зданиями и

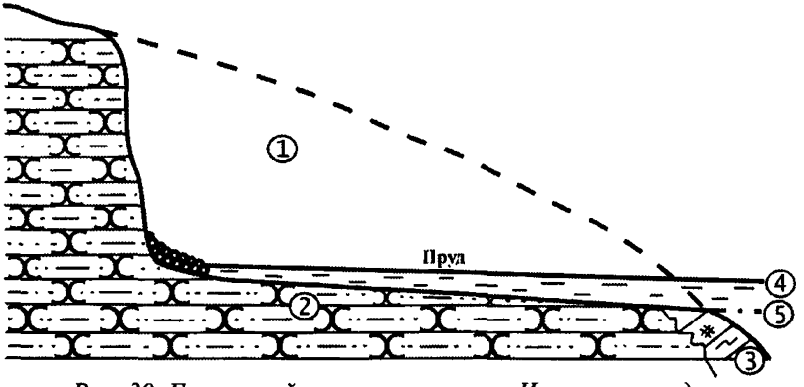


Рис. 39. Грунтовый разрез по утесу на Ижевском пруду:
1 - разрушенная волнами часть берега; 2 - песчаники на глинистом цементе (tP_2);
3 - илистый суглинок (Q); 4 - уровень воды 1824-2000 гг.; 5- уровень воды 1763-1824 гг.

сооружениями. Природа скрытых оползней изучена слабо и практически неизвестна широкому кругу местных специалистов.

Особо проявляются деформации подпорных стенок с двух сторон жилого дома по ул. Ракетной, рядом с вышеупомянутом спортзалом, где отмечается постоянный рост крена и сдвига, начиная с 1989 года. Восточное крыло нижней подпорной стенки этого здания сползло с отворотом от остальной части и раскрытием трещины, по датам: 30.03.99 на 119 мм; 25.05.99 – 198 мм, 25.06.02 – 229 мм. Крен составил 5^0 при высоте надземной части 2,75 м (см. рис. 38).

На берегу Ижевского пруда крупных оползневых явлений не наблюдается. Лишь рядом с головными водозаборными сооружениями имеется единственный вертикальный утес высотой 10 м, сложенный полускальными и скальными песчаниками. Образованию утеса, по-видимому, предшествовали оползневые явления. Утес в летнее время постоянно подвергается разрушению от набегающих волн. Здесь наибольшая длина (7 км) разбега волн от реки Воложка совпадает с направлением господствующих ветров в летний период с северо-запада. Береговая линия утеса отступила за период с 1824 по 2000 годы примерно на 35 м. Волны буквально срезали берег, образовав пологий пляж и вертикальный утес (см. рис. 39).

В Сарапуле оползни проявляются на склоне Старцевой горы, подмываемой рекой Кама. Здесь на ул. Оползина, у старого городского водозабора, подпорная стенка дала крен и раскололась. Стены дома Корешева имеют трещины с опусканием южной стены на 14 см по цоколю и 18 см по чердаку. Соседние здания на склоне и под склоном также получили разного рода деформации (крены стен, смещение отдельных частей, трещины). Здесь склон верхней надпойменной террасы высотой более 5 м с углом наклона $26\text{-}27^0$ находится в состоянии неустойчивого равновесия и нуждается в детальном изучении.

8.2. Проверка устойчивости склонов в условиях предельного и равновесного состояния

Известные методы проверки устойчивости склонов (метод равнопрочного откоса Н.Н. Маслова, круглоцилиндрических поверхностей и др.) позволяют найти очертание возможной плоскости скольжения без учета изменения напряженного состояния. Расчетных же методов установления очертании склонов в состояниях длительной и предельной устойчивости пока не имеется. «Метода точного очертания линий скольжения при прогнозировании даже простого оползня до сего времени не установлено из-за недостаточной изученности самого механизма и природы оползневого явления», – считает Е.Н. Маслов. Оказывает свое влияние здесь также то, что «критерии разрушения не имеют локальной природы», но очень часто, особенно при оползнях, «глобальная неустойчивость определяется вполне локальными условиями».

Поиск локальных условий облегчается, если в качестве исходной модели принять схему уравновешивания активного бокового давления силами трения по заданному сечению наименьшего сопротивления, как при достижении предельного состояния, так и в конце фазы преодоления упругого сопротивления. В такой постановке задачи возможно определение координат для построения профиля склона в состоянии длительной (X_g) или предельной (X_n) устойчивости грунтового массива под действием геостатических сил [14]

$$X_g = \left[\rho\, h_i^2\, tg(45-\varphi)\right] / \left[\rho\,(h_i - h_b)\, tg\varphi + c\,(1 - tg\varphi)\right];$$
$$X_n = k\left[\rho\, h_i^2\, tg(45-\varphi)\right] / \left[\rho\,(h_i - h_b)\, tg\varphi + 2\,c\right], \qquad (50)$$

где h_i – высота от поверхности до рассматриваемого сечения; h_b – высота вертикального обрыва; k – коэффициент надежности (в пределах от 1 до 1,2); ρ – плотность грунта.

Высота h_b определяется по формуле:

$$h_b = c\,(1 - tg\varphi)\,/\rho. \qquad (51)$$

Произведем проверку предложенных формул в сопоставлении с методом равноустойчивого откоса Н.Н.Маслова по координатам численного определения Xm с использованием характеристик грунтового откоса: $\varphi = 15^0$, $c = 0{,}04$ МПа, $\rho = 20$ кН/м^3 из [14].

Результаты расчета даны в таблице 28 и графически представлены на рис. 40.

Таблица 28

Параметры	Размеры горизонтальной координаты X								Примечание
h_i	1,46	2	4	6	8	10	12	15	высота
X_m	-	0,7	2,7	6,1	9,6	14,5	19,3	26,8	по F_p
X_g	0,84	1,4	4,3	7,8	11,5	15,4	19,4	25,5	по (50)
X_n	0,3	0,6	1,9	4	6,4	9,2	12,2	17	по (50)

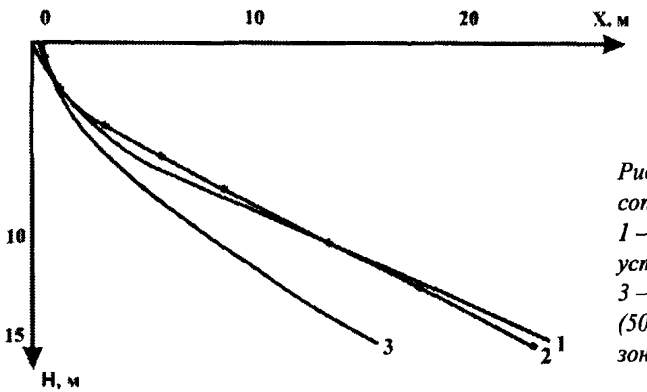


Рис. 40. Построение и сопоставление профилей склона: 1 – по Маслову; 2 – длительной устойчивости по (50); 3 – предельной устойчивости по (50); 4 – вертикальный обрыв – зона выветривания.

Предложенная методика определения координат очертания склона в состоянии длительной и предельной устойчивости не претендует на полноту учета всех довольно многочисленных факторов, влияющих на устойчивость склонов, но в первом приближении позволяет спрогнозировать возможность оползневых проявлений (см. рис. 41).

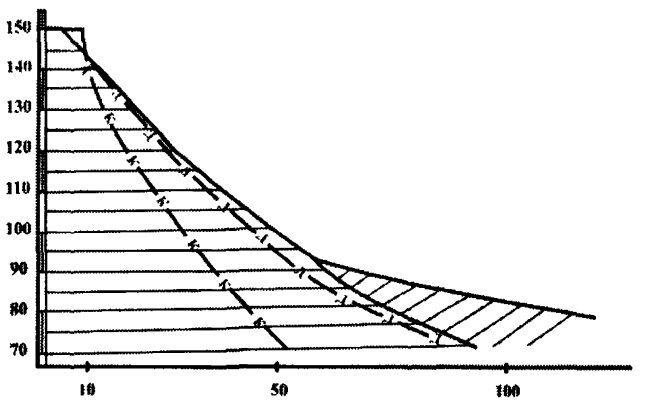


Рис. 41. Разрез по оползневому склону р. Кама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армишев В.М. Геологическая карта. Масштаб 1:150000. Атлас Удмуртской АССР. – М.: ГУГК, 1974.

2. Армишев В.М., Невзоров Н. И., Ельцов Ю. А, и др. Отчет НИР. Оценка и прогноз состояния инженерно-геологических условий на предприятии «Металлобаза 1». – Ижевск. Гос. рег. № 01860022094, 1987.

3. Геоэкологические проблемы Удмуртии. Сб. – Ижевск: Изд-во УдГУ, 1997. – 158 с.

4. Егоров Д.Е. Отчет о бурении скважины на минеральную воду в санатории «Металлург», Фонды санатория. – Ижевск, 1966.

5. Ельцов Ю.А. Отчеты по инженерно-геологическим изысканиям. – Ижевск, архив «Удмуртгражданпроект», 1955-61 гг.

6. Ельцов Ю.А. Инженерно-геологическая характеристика грунтов на участке реконструкции церкви в с. Вавож. Отчет. – Ижевск, «Удмуртгражданпроект», 1959.

7. Ельцов Ю.А. Отчеты по бурению разведочно-эксплуатационных скважин на воду.– Ижевск, архив «Промбурвод», 1961-65 гг.

8. Ельцов Ю.А. Определение оптимальных притоков подземных вод в береговой водозабор г. Сарапула и рациональная схема его расположения. – Томск, архив ТПТИ, 1963.

9. Ельцов Ю. А. Отчеты по инженерно – геологическим изысканиям. – Ижевск, архив «Прикампромпроект», 1967-76 гг.

10. Ельцов Ю.А. Подземные воды. Перспективы использования подземных вод. //Сб. «Природа Удмуртии». – Ижевск: «Удмуртия», 1972. – С. 115-125.

11. Ельцов Ю.А. Рекомендации по проектированию и устройству бурнонабивных и короткосвайных фундаментов. Отчет НИР. Гос. рег. 770-19301. Ижевск, фонды ИжГТУ, 1978.

12. Ельцов Ю.А. Исследование грунтов на стройке и в лаборатории. – Ижевск, фонды ИжГТУ, 1979.

13. Ельцов Ю.А. Грунты Удмуртии. Рукопись депонир. рефер. ж. «Строительство и архитектура», сер. 10. вып. 3. – М., 1985. Архив ИжГТУ, 1981. – 130 с.

14. Ельцов Ю.А. Исследование грунтов наконечниками. – Ижевск: Изд-во УдГУ, 1990. – 112 с.

15. Ельцов Ю.А., Невзоров Н.И. и др. Отчет о НИР. Прогнозирование устойчивости оползневого склона «Крутые горки». УАССР. – Ижевск, архив ИжГТУ, № гос. рег. 01880068107, 1991.

16. Ельцов Ю.А. Невзоров Н.И. и др. Отчет по обследованию кор. № 1 п/о «Ижмаш». – Ижевск. Фонды Ижмаша, 1991.

17. Ельцов Ю.А. Заключение по грунтовым условиям стройплощадки автомойки п/о. «Гарант». – Ижевск, 1991.

18. Ельцов Ю.А. Предложения по исследованию источников водоснабжения Можги. Арх. Можгинского водоканала, 1992.

19. Ельцов Ю.А. Механика воздействия наконечников. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2000. – 52 с.

20. Илларионов А.Г., Морозова Г.И. Природные достопримечательности Удмуртии. – Ижевск: «Госкомиздат», 1989. – 65 с.

21. Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии. – Ижевск: Изд-во УдГУ, 1994. – 287 с.

22. Кудрявцев В. А., Ельцов Ю.А. Заключение о состоянии несущих конструкций спортзала «Нефтемаш». – архив «Нефтемаш», 1990.

23. Наумов В.И. Характеристика и охрана хозяйственно-питьевых вод УАССР. – Ижевск: «Удмуртия», 1978. – 153 с.

24. Невзоров Н.И., Миков Г.В. и др. Исследование деформаций корп. 1. Ижмаша. Отчет НИР. № гос. рег. 01823028480, 1985.

25. Перевощиков А.П. Ижевск. – Ижевск: «Удмуртия», 1995.

26. Печеркин Н.А. и др. Переработка берегов водохранилищ, сложенных песчано-глинистыми и карбонатными породами. – Пермь: Изд-во ПУ, 1981.

27. Природные ресурсы и экология Удмуртии. Сб. – Ижевск: изд-во УдГУ, 1995.

28. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. – Ижевск: изд-во УдГУ, 1998.

29. Сергеев С.И. Отчет по обощению материалов испытаний свай. Арх. «Удмуртгражданпроект», 1979.

30. Смирнов В.Я., Мешков П. И. и др. Геологическое строение и гидрогеологические условия междуречья Ижа и Камы. Отчет Г.Г.У., лист 0-39 – XXXV1, том 1, 1974.

31. Фонды Ц.Г.А. УР. Ижевск. Ф:212. ех:561, 2753, 3159, 3377, 3740, 3710.

32. Широбоков С.И. Удмуртская АССР (экономико-географический очерк). – Ижевск: «Удмуртия», 1969.

33. Нейштад М.И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: изд-во АН СССР, 1957.

gost.e-ecolog.ru