

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ГОУ ВО ВГУ)

Геологический факультет
Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков, Ю.А. Устименко, А.Э. Курилович,
О. А. Бабкина

**УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОПЫТНЫХ РАБОТ
В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2023

УДК 556.3+624.131.3 (076.5)
ББК (26.35+26.3)я73

Утверждено решением Ученого совета геологического факультета
Воронежского государственного университета 07.09.2023 года,
протокол № 1.

Авторы:

Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков, Ю.А. Устименко, А.Э. Курилович, О. А. Бабкина

Рецензент –

доктор геолого-минералогических наук, профессор В. М. Ненахов

Учебная практика по проведению опытных работ в гидрогеологии и инженерной геологии / Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков, Ю.А. Устименко, А.Э. Курилович, О. А. Бабкина. – Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. – 188 с.

Учебное пособие подготовлено для проведения полевой практики студентов 3-го курса, обучающихся по профилю «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания». В программу практики включены следующие методы исследований: бурение скважин, статическое зондирование, штамповые испытания, срез целиков грунтов, наливывы в грунты зоны аэрации, кустовые и одиночные откачки, экспресс-откачки, гидрометрические работы на реке, полевые гидрохимические исследования.

УДК 556.3+624.131.3 (076.5)
ББК (26.35+26.3)я73

ISBN _____ © Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков, Ю.А. Устименко, А.Э. Курилович, О. А. Бабкина

составление, 2023

© Оформление. Издательский дом ВГУ, 2023

Содержание

Введение.....	9
1. Краткая характеристика физико-географических, геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий района практики	11
1.1.Физико-географический очерк	12
1.2.Геологическое строение	20
1.3.Гидрогеологические условия	26
1.4.Инженерно-геологические условия	37
2. Изучение режима подземных вод.....	39
3. Буровые работы, первичное описание грунтов, отбор монолитов грунтов	48
4. Статическое зондирование грунтов.....	63
5. Срез целиков грунта.....	72
6. Испытания грунтов штампами.....	79
7. Инженерно-геологическое изучение песчаных грунтов зоны аэрации с использованием экспресс методов	90
8. Опытные наливывы в шурфы	104
9. Экспресс-откачки воды из скважин, работающих через дно.....	112
10. Опытная откачка воды из скважины: кустовая и одиночная.....	116
11. Маршрутные гидрогеологические наблюдения и опробование.....	121
12. Гидрометрические исследования на реках	125
13. Полевые гидрохимические исследования.....	141
ЛИТЕРАТУРА	170
Приложение 1. Форма журнала наблюдений за уровнем и температурой подземных и поверхностных вод.....	175
Приложение 2. Ведомость отбора проб воды / грунта	176

Приложение 3. Буровой журнал скважины	177
Приложение 4. Пример оформления результатов статического зондирования	178
Приложение 5. Образец журнала испытания на срез целиков грунта, оформленный в электронной таблице Excel	179
Приложение 6. Образец журнала испытания грунта штампом, оформленный в Excel	180
Приложение 7. Результаты определения гранулометрического состава и физических характеристик песка	181
Приложение 8. Образец паспорта налива в шурфы с постоянным напором	182
Приложение 9. Журнал наблюдений. Экспресс-откачка из скважины через дно	183
Приложение 10. Образец оформления результатов экспресс-откачки из скважины через дно	184
Приложение 11. Схематические геолого-технический разрез куста учебных опытных скважин на полигоне «Веневитиново»	185
Приложение 12. Журнал наблюдений за кустовой откачкой	186
Приложение 13. Титул и содержание отчета о практике	187

Список рисунков

Рис. 1.1 Местоположение полигона учебной практики	11
Рис. 1.2 Фрагмент геологической карты дочетвертичных отложений масштаба 1:200000 [28].....	22
Рис. 1.3 Фрагмент условных обозначений к геологической карте дочетвертичных отложений масштаба 1:200000 [28]	23
Рис. 1.4 Фрагмент геологической карты четвертичных отложений масштаба 1:200000 [28].....	24
Рис. 1.5 Фрагмент условных обозначения к геологической карты четвертичных отложений масштаба 1:200000 [28]	25
Рис. 1.6 Фрагмент гидрогеологической карты первых от поверхности водоносных горизонтов масштаба 1:200000 [28].	28
Рис. 1.7 Фрагмент условных обозначений к гидрогеологической карты первых от поверхности водоносных горизонтов масштаба 1:200000 [28] ...	29
Рис. 1.8 Фрагмент гидрогеологической карты дочетвертичных образований масштаба 1:200000 [28].	32
Рис. 1.9 Фрагмент условных обозначений к гидрогеологической карты дочетвертичных образований масштаба 1:200000 [28]	33
Рис. 1.10 Фрагмент гидрогеологического разреза масштаба: горизонтальный 1:200000, вертикальный 1:10000 [28].	34
Рис. 2.1 Конструкция электроуровнемера:	41
Рис. 8.1 Схемы наливов в шурфы:	106
Рис. 8.2 График зависимости расхода Q от времени t	108
Рис. 8.3 График зависимости QW от W	108
Рис. 8.4 График зависимости W от t	110
Рис. 8.5 График зависимости от t/t_1 [23].....	111
Рис. 9.1 График для определения значения A на прямолинейном участке	114

Рис. 10.1 Индикаторный график временного прослеживания уровня при откачке.....	118
Рис. 10.2 Схема опытного куста	120
Рис. 13.1 Полевая лаборатория анализа воды НКВ-1.....	141
Рис. 13.2 Полимерная пипетка.....	143
Рис. 13.3 Пробирка.....	144
Рис. 13.4 Мерная склянка с метками и пробкой.....	144
Рис. 13.5 Пробирка, имеющая метку 5 мл.	145
Рис. 13.6 Ложка мерная.....	150
Рис. 13.7 Градуированная полимерная пробирка с крышкой.....	150
Рис. 13.8 Контрольная шкала образцов окраски растворов	151
Рис. 13.9 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения иона аммония.....	152
Рис. 13.10 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов	153
Рис. 13.11 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов	154
Рис. 13.12 Эталонная шкала рН.	155
Рис. 13.13 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения железа общего	155
Рис. 13.14 Контрольная шкала образцов окраски начала и окончания титрования для определения сульфат-иона	163

Список таблиц

Таблица 1.1 Климатические параметры теплого периода года по м.ст. Воронеж [29]	16
Таблица 1.2 Климатические параметры холодного периода года по м.ст. Воронеж.....	17
Таблица 2.1 Результаты режимных наблюдений	44
Таблица 3.1 Полевые признаки определения степени влажности песков [5]	57
Таблица 3.2 Вспомогательные признаки определения основного наименования глинистых грунтов	58
Таблица 3.3 Полевые признаки определения консистенции [5].....	58
Таблица 4.1 Определение плотности сложения песков по данным статического зондирования [38, Табл. Ж.1].....	69
Таблица 4.2 Определение нормативного модуля деформации песчаных грунтов E по данным статического зондирования [38, Табл. Ж.2]	69
Таблица 4.3 Определение нормативного угла внутреннего трения песчаных грунтов φ по данным статического зондирования [38, Табл. Ж.3]	69
Таблица 4.4 Определение нормативных значений модуля деформации E , угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C глин, суглинков и супесей (кроме грунтов ледникового комплекса) по данным статического зондирования [38, Таблица Ж.4].....	70
Таблица 5.1 Значения нормальных давлений при срезе [11]	76
Таблица 6.1 Тип и площадь штампа в зависимости от разновидности грунта [10]	81

Таблица 6.2	Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамп-повых испытаниях для крупнообломочных и песчаных грунтов [10].....	82
Таблица 6.3	Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамповых испытаниях для глинистых грунтов [10]	83
Таблица 6.4	Значение коэффициента K_r в зависимости от отношения глубины испытания и диаметра штампа [10]	85
Таблица 7.1	Виды работ для каждого интервала опробования	93
Таблица 7.2	Результаты испытаний грунта микропенетрометром	95
Таблица 7.3	Журнал проведения испытаний на сдвиг	97
Таблица 7.4	Классификация грунтов по значениям коэффициента пористости [6].....	101
Таблица 7.5	Классификация грунтов по значениям коэффициента водонасыщения.....	101
Таблица 7.6	Классификация грунтов по данным гранулометрического анализа.....	102
Таблица 8.1	Значения капиллярного поднятия в грунтах	109
Таблица 10.1	Результаты расчета коэффициента фильтрации по результатам опытной откачки.....	120
Таблица 12.1	Журнал измерения глубин по гидрометрическим створам	131
Таблица 13.1	Характер и интенсивность запаха	147
Таблица 13.2	Характер и интенсивность вкуса и привкуса	148
Таблица 13.3	Визуальная оценка цветности.....	149
Таблица 13.4	Извлечения из СанПиН 1.2.3684-21	169

Введение

Учебная практика по проведению опытных работ в гидрогеологии и инженерной геологии проводится на 3-м курсе, завершая изучение следующих дисциплин: «Методы гидрогеологических исследований и картографирования», «Специальная гидрогеология», «Методы инженерно-геологических исследований». Основной целью практики является получение профессиональных умений и навыков по методам полевых опытных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

Основные задачи практики - изучение полевых методов исследований: буровые работы и опробование грунтов, полевые испытания грунтов, проведение опытно-фильтрационных работ, гидрометрические работы.

Практика проводится на базе научно-образовательного комплекса (НОиОК) «Веневитиново» Воронежского государственного университета (п. Веневитинский Новоусмаского района Воронежской области). На территории базы имеются наблюдательные скважины на разные водоносные горизонты, куст неглубоких скважин, предназначенный для проведения опытных работ, оборудованные участки для проведения опытных испытаний грунтов.

Учебная практика включает три этапа.

Первый этап – *подготовительный*, проводится в г. Воронеже. Его основными задачами являются:

- усвоение правил безопасного проведения полевых работ и порядка пребывания и проживания на базе практики;
- ознакомление с программой и календарным планом полевого этапа, изучение методических пособий по отдельным видам исследований;
- подготовка полевого снаряжения и оборудования (средств документирования, измерения, опробования, обработки информации, оборудования для опытных работ).

- изучение сведений по геологическим, гидрогеологическим, инженерно-геологическим условиям района.

Второй этап – *полевой*, нацелен на приобретение практических навыков полевых опытных работ. Проводится на базе научно-образовательного комплекса «Веневитиново».

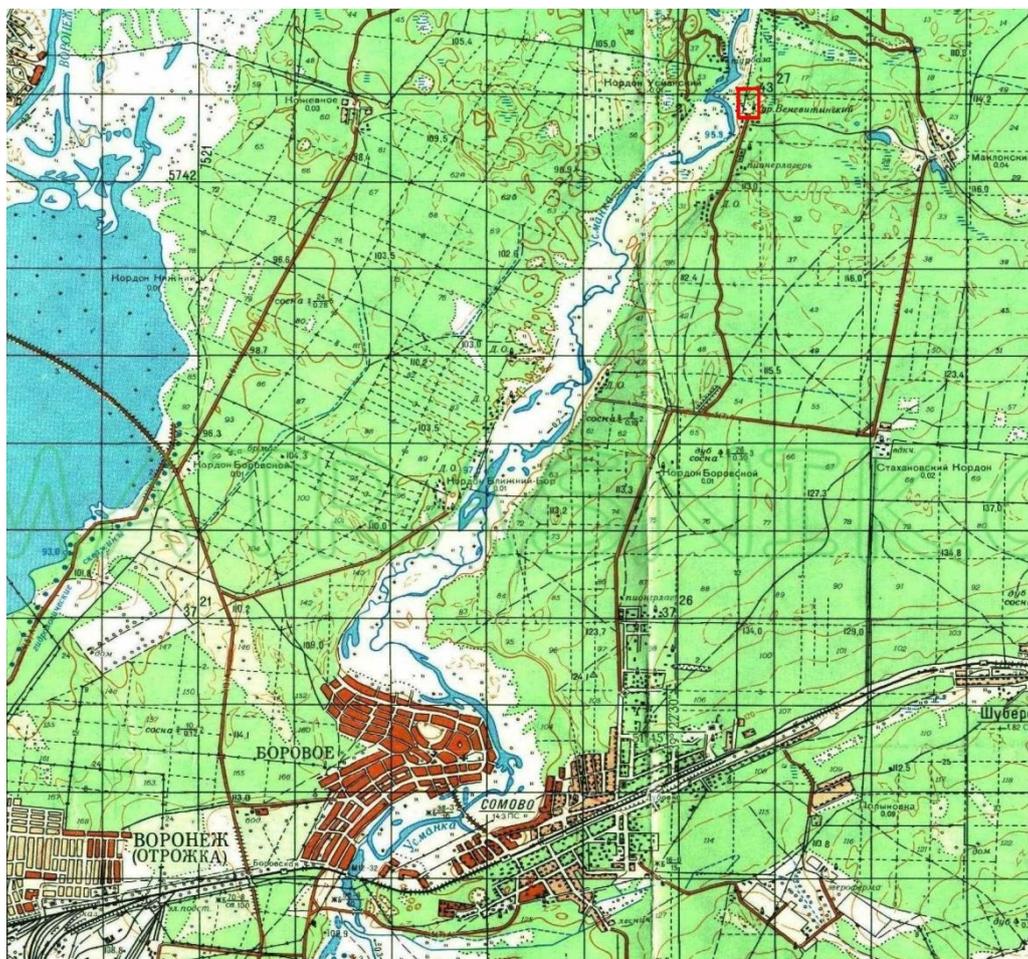
По прибытию на базу студенты проходят инструктаж по технике безопасности. Студенческая группа разбивается на две самостоятельных бригады, которые самостоятельно будут выполнять полевые исследования.

Каждый рабочий день практики посвящен отдельному методу исследования. В первой половине рабочего дня выполняются полевые работы, во второй половине дня проводится предварительная камеральная обработка материалов (заполняются журналы опытных работ, формируются электронные таблицы. Режимные гидрогеологические наблюдения проводятся в течение всего полевого периода практики ежедневно в утреннее время и вечернее время.

Третий этап – *камеральный*, проводится частично на базе практики и завершается в ВГУ. На данном этапе проводится окончательная обработка материалов исследований и написание отчета. Каждая бригада составляет самостоятельный отчет. Защита отчета проводится в форме опроса студентов по всем разделам программы практики, с вынесением оценки.

1. Краткая характеристика физико-географических, геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий района практики

Научно-образовательный комплекс «Веневитиново» находится в Новоусманском районе Воронежской области, на правом берегу реки Усмань, в 7 км к югу от ее впадения в р. Воронеж (рис. 1.1). Полигон практики включает территорию учебно-научной базы «Веневитиново», пойменные участки и прилегающие лесные угодья, относящиеся к Государственному заказнику федерального значения «Воронежский», который занимает южную часть Усманского бора.



□ - полигон учебной практики

Рис. 1.1 Местоположение полигона учебной практики

1.1. Физико-географический очерк

Район практики находится в западной части Окско-Донской низменной равнины, и относится к Воронежско-Битюгскому междуречному геоморфологическому району [28].

Согласно физико-географическому районированию территория изучения относится к центрально-плоскостному району подзоны типичной лесостепи лесостепной провинции Окско-Донской низменности.

Рельеф равнинный, местами слабо всхолмленный и всхолмленный. Вдоль поймы реки Усмань наблюдаются полосы бугристых песков с впадинами между ними (болотами).

Гидрография

Река Усмань - левый приток р. Воронеж. Её длина 151 км, площадь водосбора - около 2840 км², 10% площади водосбора занимают леса, 2,5% - болота. Уклон реки небольшой - всего 3 см на 1 км.

Река Усмань относится к восточно-европейскому или русскому типу. Для этих рек характерно мощное весеннее половодье, связанное с таянием снега в период весеннего перехода температуры через «ноль», от отрицательных к положительным значениям [20].

Годовой режим уровней воды реки Усмань определяется характером ее питания, который, в свою очередь зависит от количества осадков и их сезонного распределения. Несмотря на то, что максимум осадков выпадает в летний период, они, как правило, существенного влияния на сток не оказывают. Зимнее снегонакопление в условиях сильного промерзания почвы обеспечивает обильную отдачу воды. Это способствует формированию высокого и продолжительного половодья. В теплые зимы со слабым промерзанием почвы объем стока весеннего половодья значительно уменьшается. Однако основное питание (70-75 % годового объема стока) река получает за

счет весеннего снеготаяния. Самый высокий уровень в половодье отмечен в 1970 г, у с. Боровое он достиг над меженью почти 5 м.

Грунтовое питание р. Усмани не превышает 15-20%, дождевое – 3-10%. В периоды летней и зимней межени река получает питание из неоген-четвертичного водоносного комплекса, связанного с водотоком. Интенсивность поступления подземных вод в русло умеренная.

Подъем уровня воды в реке происходит за 5-10 дней до момента ее вскрытия. Максимальные уровни чаще всего наблюдаются в конце марта или начале апреля. В периоды летне-осенней и зимней межени водность реки относительно равномерна и повышается лишь во время дождевых паводков. Самые низкие уровни воды бывают в конце летней межени и реже – при ледовых явлениях.

Именно половодье определяет уровни затопления реки Усмань. Максимальные подъемы уровня, как правило, не превышают 1-2 м.

Зимой, при переходе температур воздуха через 0° на реке Усмань наблюдаются ледовые явления и начинается зимняя межень. Реки переходят на грунтовое питание. Продолжительность зимней межени зависит от климатических условий и составляет в среднем 140 дней в году. Установление ледостава на реке происходит во второй декаде декабря.

Как правило, ледоход на реке проходит до наступления пика половодья, в его начальной стадии, а чаще всего вода идет поверх льда. Это существенно снижает риск заторов и зажоров на ручьях и реках в период половодья. При выходе воды половодья на пойму, заторные явления не возможны из-за резкого расширения потока. Отношение ширины покрытого льдом русла к ширине затопляемой поймы 1:100 в начале выхода воды на пойму и до 1:200 при разливе на пойме. В последние годы ледоходы вообще практически прекратились, вода в период подъема половодья идет поверх льда и лед постепенно тает в русле не всплывая.

На гидрологический режим реки Усмани и её долину большое влияние оказывают новейшие тектонические поднятия в районах сёл Орлово и Новая Усмань (Усманское поднятие, Рогачевское поднятие), которые вызывают плотинный эффект [32]. Так, выше поднятия в районе с. Орлово, в границах Воронежского заповедника, пойма реки занята сплошным непроходимым болотом.

У с. Орлово, в пределах поднятия, пойма высокая (2-3 м) и в основном плоская, изредка расчленённая сухими и заболоченными ложбинами - следами древних заилений русел. На пойме преобладают поливные луга, на отдельных её участках сохранилась естественная растительность - заросли типчака. Ниже с. Орлово река расширяется, пойма понижается и становится лугово-болотной. На участке от с. Новая Усмань до базы практики пойма снова повышается и становится лугово-лесной.

Климат

Климат района практики определяется его положением в умеренном климатическом поясе между 51 и 52 градусами северной широты. Климат умеренно - континентальный с относительно жарким летом, и умеренно-холодной зимой.

Положение территории в умеренном поясе предопределяет практически круглогодичное господство умеренной воздушной массы и западно-восточный перенос. Нередки поступления континентального умеренного воздуха из центральных районов Евразии. Иногда наблюдаются вторжения арктической (зимой) или тропической воздушной массы (летом). Рельеф территории изысканий равнинный, поэтому значительных климатических изменений, связанных с ним, не наблюдается.

Весна на изучаемой территории наступает в апреле. Дата разрушения устойчивого снежного покрова здесь практически совпадает со временем перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С (29–31 марта).

В конце марта устанавливаются положительные температуры, а несколькими днями позже сходит и снежный покров (в холодные весны снежный покров сохраняется до третьей декады апреля). Повышение температуры от марта к апрелю значительно, около 10°C. Средняя продолжительность периода снеготаяния 15-20 дней. Со второй декады апреля устанавливается средняя суточная температура 5⁰.

Летний тип погоды формируется преимущественно вследствие трансформации воздушных масс в антициклоне: этому способствует большой приток солнечной энергии. Лето сухое, жаркое и наступает оно в середине мая. Средняя продолжительность лета составляет 120-130 дней. В июле среднесуточная температура более 20°C наблюдается в течение 17-20 дней. Однако возможны возвраты холодов и даже заморозки. Самый теплый месяц – июль. Средняя месячная температура июля составляет 20,1°C. В отдельные годы температура воздуха может повышаться до очень высоких значений. Абсолютный максимум достигает 41 °С. Летние осадки значительно преобладают над зимними.

Осень, как переходный сезон, кратковременна и характеризуется большими суточными амплитудами температур. Осень наступает в сентябре и заканчивается в начале ноября. Температура почвы начинает резко снижаться в октябре, и в ноябре уже достигает отрицательных температур (минус 5°C). С наступлением осени (за ее начало принята дата перехода средней суточной температуры через 15°) температура воздуха и почвы понижается. Осенние процессы перестройки протекают несколько медленнее, чем весенние. Наибольшее падение средней месячной температуры – на 6-8° происходит от сентября к октябрю. Осенний период заканчивается с переходом суточной температуры через 0° и появлением снежного покрова. Продолжительность осени в среднем составляет 65 дней.

Климатические характеристики теплого периода года приведены в [таблице 1.1](#).

Таблица 1.1 Климатические параметры теплого периода года по м.ст. Воронеж [31]

Барометрическое давление ,гПа	999
Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	25
Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	29
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	25,9
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	41
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	11,2
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	69
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	53
Количество осадков за апрель – октябрь, мм	370
Суточный максимум осадков, мм	100
Преобладающее направление ветра за июнь-август	3
Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с	0

Первые заморозки обычно наблюдаются в начале октября. Отмечены годы, когда заморозки наблюдались раньше указанной даты. Самый ранний заморозок – середина сентября. Зима (за дату начала зимы принята дата перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С) начинается 10-20.11, а устойчивые морозы устанавливаются 01-10.12. Продолжительность периода с устойчивыми морозами в среднем составляет 90 дней.

Наиболее низких значений температура воздуха достигает в январе и феврале. Зима длится примерно 5 месяцев (с ноября по март). Средние месячные температуры января составляют минус 7,5°С в г. Воронеже. Появление снежного покрова приходится обычно на первую и начало второй декады ноября. Первый снег обычно стает с возвращением тепла. Устойчивый снежный покров образуется во второй половине декабря. Средняя глубина снежного покрова на открытых местах составляет 15-18 см, а в за-

щищенных условиях – около 25 см. Максимальной высоты снежный покров достигает в конце февраля – начале марта. Средняя продолжительность периода со снежным покровом - 106 дней. Глубина промерзания почвы достигает 90-150 см; средняя многолетняя глубина промерзания почвы 60-70 см.

Для зимы характерно усиление скорости ветра. В Воронеже максимальные скорости ветра наблюдаются в декабре-январе и составляют 3,7 м/с.

Климатические характеристики холодного периода года приведены в [таблице 1.2 \[31\]](#).

Таблица 1.2 Климатические параметры холодного периода года по м.ст. Воронеж

Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченность		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С обеспеченность		Продолжительность, сутки и средняя температура воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха					
0,98	0,92	0,98	0,92	≤ 0°С		≤ 8°С		≤ 10°С	
				Продолжитель.	Ср. темп.	Продолжитель.	Ср. темп.	Продолжитель.	Ср. темп.
-31	-29	-25	-24	130	-5,5	190	-2,5	206	-1,6
Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94									-13
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С									-37
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С									5,9
Средняя месячная отн. влажность воздуха наиболее холодного месяца, %									82
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15ч наиболее холодного месяца, %									80
Количество осадков за ноябрь – март, мм									201
Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль									3
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с									4
Средняя скорость ветра м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С									3,3

Осадки в районе распределяются неравномерно. С апреля по октябрь осадков выпадает 370 мм, с ноября по март – 201 мм. Показатель увлажненности составляет около 1,1. Величина испарения составляет 411 мм/год.

Растительный мир

По ботанико-географическому районированию европейской территории России территории работ приурочена к *Среднерусской лесостепной провинции*. На нераспаханных поверхностях характерно преобладание сообществ луговых степей (злаково-разнотравные, типчаково-разнотравные, перистоковыльно-разнотравные луговые степи). Большую часть правобережной водосборной площади р. Усмань (от г. Усмань до устья реки) занимает Усманский бор, относящийся к Воронежско-Усманскому району зеленомошных сосновых и дубово-осоковых лесов [37].

Зональным типом лесной растительности считаются дубово-липовые сообщества с примесью ясеня и клена полевого. Усманский лесной массив назван «бором» по преобладанию на его территории сосновых лесов. Такие боры как Усманский, растущие на песчаных террасах рек, представляют природу более северных - таёжных лесов. Флористическое своеобразие южных островных лесов определяется сочетанием северных лесных видов растений и представителей зональной степной флоры.

В Усманском бору наряду с сосняками распространены дубняки, близкие к зональным дубравам, а также растительные сообщества водоемов, лугов, болот и ольшаников в поймах рек. Значительные площади заняты производными (березняки и осинники) и искусственными (культуры сосны, березы, ели, лиственницы, ивы) растительными сообществами. Современный растительный покров заповедника представляет собой сочетание сосновых (33.2% общей площади), широколиственных (преимущественно дубовых) (31.3%), осиновых (15%), березовых (3.7%) и черноольховых (6.2%) лесов. 2,3% общей площади заказника - это сухие,

умеренно увлажненные и сырые местообитания, занятые травянистыми сообществами, 2.2% территории занимают болота.

Разнообразны сосновые леса заказника, почти половина их посажена человеком. На глубоких сухих и бедных песках распространены сосняки лишайниковые и зеленомошные. Сосняки лишайниковые встречаются небольшими по площади фрагментами на вершинах дюн. Древесный ярус этих сообществ образован сосной с единичной примесью дуба, подлесок не развит, лишь иногда встречаются единичные экземпляры дуба кустарниковой формы и ракитник [37].

Преобладающим типом почв в пределах Усманского бора являются дерновые лесные и серые лесные, в пойме реки развиты аллювиальные пойменные и лугово-болотные почвы.

Животный мир

Самые крупные обитатели территории – парнокопытные: лоси, кабаны, олени и косули. Также присутствуют: хищные животные (волки, енотовидные собаки лисицы), семейство куницевых (барсуки, ласки, горностаи, обычные и лесные куницы, американские норки и речные выдры), грызуны (речные бобры, белки, барсуки, зайцы, мыши, крысы, хомяки и ондатры).

Птицы по праву получают звание самого большого подвида позвоночных животных в Воронежском заказнике. Здесь гнездятся около 137 видов. Самые многочисленные - представители соколообразных, воробьинообразных и ржанкообразных. К распространенным пернатым относятся зяблики, зарянки, чижы, синицы, трещотки, серые мухоловки, черные и певчие дрозды, желтоголовые трясогузки, обыкновенные зеленушки, дятлы и ушастые совы. Присутствуют и хищные птицы, например, черные коршуны, могильники, обыкновенные осоеды, большие подорлики, камышовый и степной лунь.

Из пресмыкающихся здесь можно увидеть три вида ящериц, самая распространенная из них – прыткая ящерица. Также часто встречаются ужи, обыкновенные медянки и гадюки.

В водоемах, расположенных на территории заказника, обитают представители следующих видов: щука обыкновенная, плотва, линь, лещ, язь, золотой карась, серебрянный карась, пескарь обыкновенный, налим, окунь, судак, ерш.

Экологическая обстановка

На территории заказника «Воронежский» расположено около пятидесяти детских лагерей и баз отдыха. Кроме этого, живописная местность привлекает на территорию заказника большое количество неорганизованных туристов, грибников и ягодников. По субботам и воскресеньям сотни машин из города Воронежа устремляются на территорию заказника по шоссе Сомово-Маклок-Рамонь. На берегах реки Усмань разбивают множество туристских палаточных городков. Такая ситуация оказывает определенное нежелательное влияние на животный мир и экологию территории.

1.2. Геологическое строение

Стратиграфия и литология

Территории практики расположена на северо-востоке Воронежской антеклизы и имеет трёхъярусное строение. Первый – нижний - ярус представлен породами архей-протерозойского возраста, слагающими кристаллический фундамент. Второй ярус - залегающие субгоризонтально осадочные породы девона, общая мощность которых составляет до 260 м. Третий ярус - верхний - залегающие субгоризонтально осадочные породы неогена и четвертичные образования [28].

Архей - протерозойская система (AR-PR)

Архей–протерозойская система представлена тонкокристаллическими метаалевролитами и метапесчаниками, залегающими на глубине 197м. Абсолютные отметки кровли фундамента 92м. Вскрытая мощность 53м, мощность коры выветривания 4,8м.

Девонская система (D)

Средний отдел(D₂)

Эйфельский ярус (D_{2ef})

Мосоловская свита (D_{2ms}). Литологически мосоловская свита представлена в нижней части разреза – кварцевыми грубозернистыми песчаниками мощностью 3,4 метра, в верхней – известняками. Общая мощность отложений 16м. Абсолютная отметка кровли 76м.

Живетский ярус (D_{2zv})

Воробьевская свита (D_{2vb}). Литологически воробьевские отложения представлены очень плотными голубовато-серыми аргиллитами, перекрывающимися в верхней части амфиболитами. Мощность отложений 19м. Абсолютная отметка кровли 57м.

Ардатовская свита (D_{2ar}). Литологически ардатовские отложения представлены плотными аргиллитами табачно-зеленого цвета с прослоями алевролитов и глин мощностью до 1,5м. Общая мощность отложений 23м. Абсолютная отметка кровли 34м.

Муллинская свита (D_{2ml}). Литологически муллинские отложения представлены переслаиванием аргиллитов, алевролитов и кварцевых песчаников. Мощность отложений 10,5м. Абсолютная отметка кровли 23,5м.

Верхний отдел (D₃)

Франский ярус (D_{3f})

Саргаевская свита (D_{3sr}). Литологически представлена известняками с подчиненными прослоями мергелей, гидрослюдисто-карбонатных глин. Мощность толщи 20м. Абсолютная отметка кровли 42м.

Семилукская свита (D_{3sm}). Разделена на 2 подсвиты: нижнюю и верхнюю (Рис. 1.2, 1.3).

Нижняя подсвита (D_{3sm_1}) представлена аргиллитоподобными глинами с прослоями известняков и мергелей мощностью до 2м. Мощность подсвиты 12,5м. Абсолютная отметка кровли 55м.

Верхняя подсвита (D_{3sm_2}) представлена аргиллитоподобными глинами, в верхней части с прослоями известняков мощностью до 10-15см. Мощность подсвиты 13м. Абсолютная отметка кровли 68м.

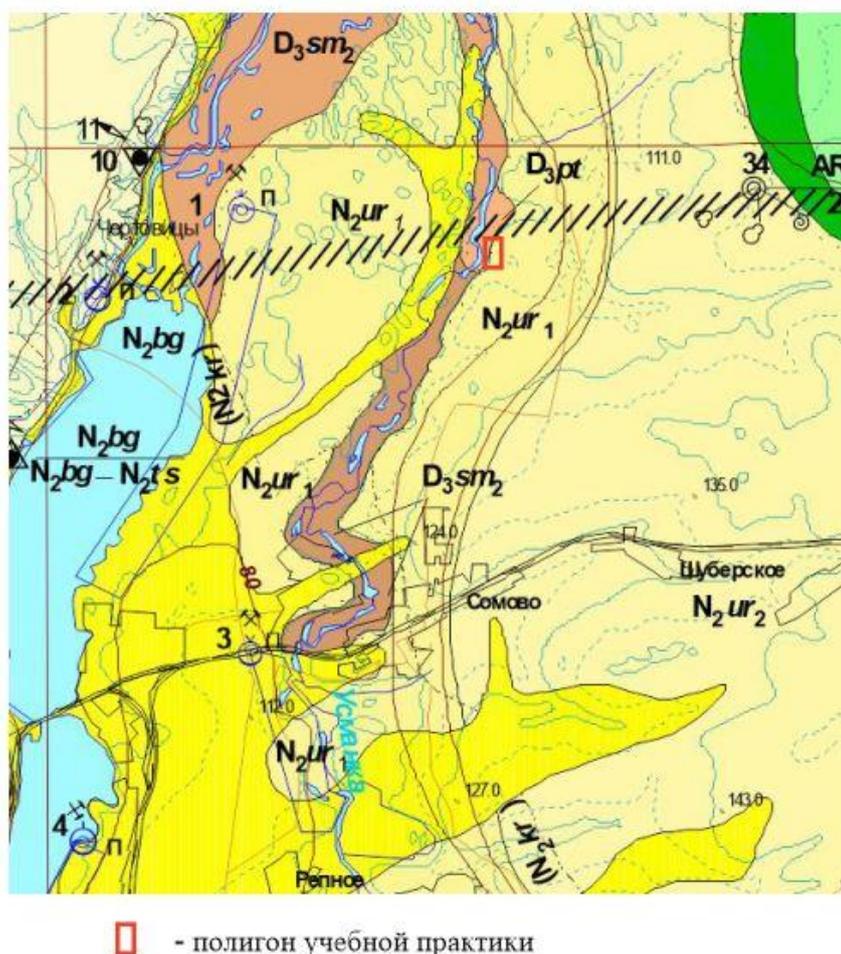


Рис. 1.2 Фрагмент геологической карты дочетвертичных отложений масштаба 1:200000 [28]

Петинская свита (D_{3pt}) представлены песками и песчаниками. Породы белые, желтые, серые, реже буровато-серые, кварцевые, разномерные: в основании грубомерные до гравийных, вверх по разрезу средне- и тонкомерные. Мощность отложений колеблется от 2 до 10 м.

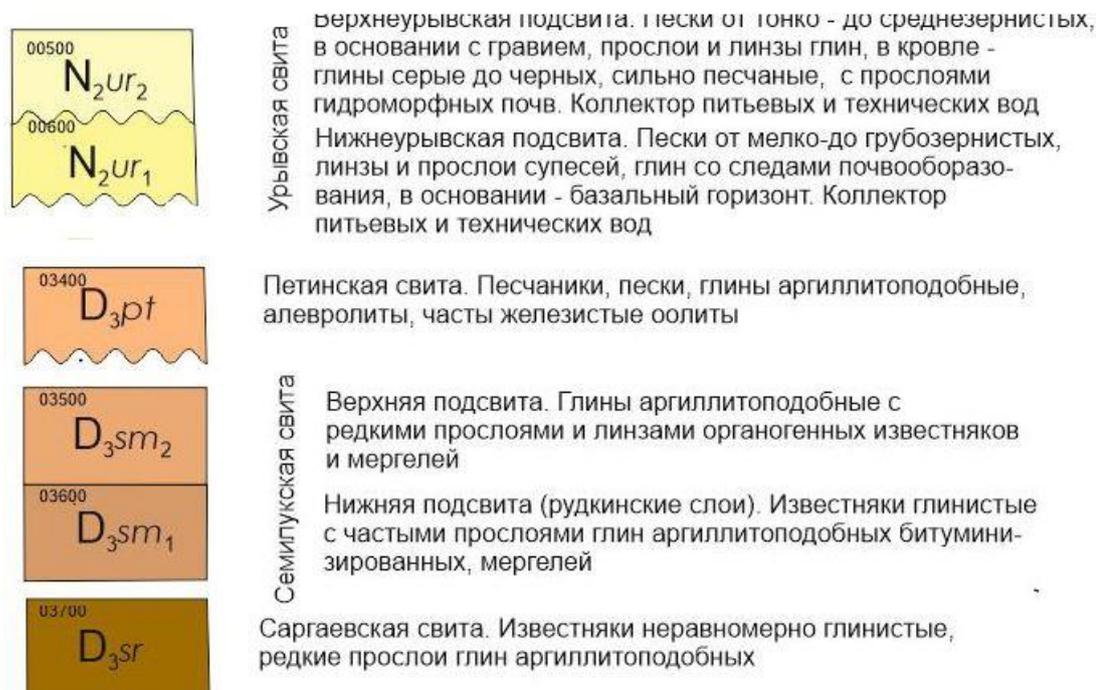


Рис. 1.3 Фрагмент условных обозначений к геологической карте дочетвертичных отложений масштаба 1:200000 [28]

Неогеновая система (N)

Плиоцен (N_2). Верхний подотдел (N_2^3).

Нижнеурвская подсвита (N_{2ur_1}). Отложения нижнеурвской подсвиты залегают со стратиграфическим несогласием на породах девонской свиты. Представлены песками светло-серыми, мелко-среднезернистыми, кварцевыми. Мощность отложений 19 м. На отдельных участках долины р. Усманка в северном и южном направлении от базы «Веневитиново» отложения верхнего плиоцена отсутствуют.

Четвертичная система (Q)

Современные аллювиальные отложения представлены песками серого и желтовато-серого цвета, кварцевыми, мелко-среднезернистыми с прослоями суглинков и супесей. Мощность отложений составляет 10-15 м, местами достигает 20 м.

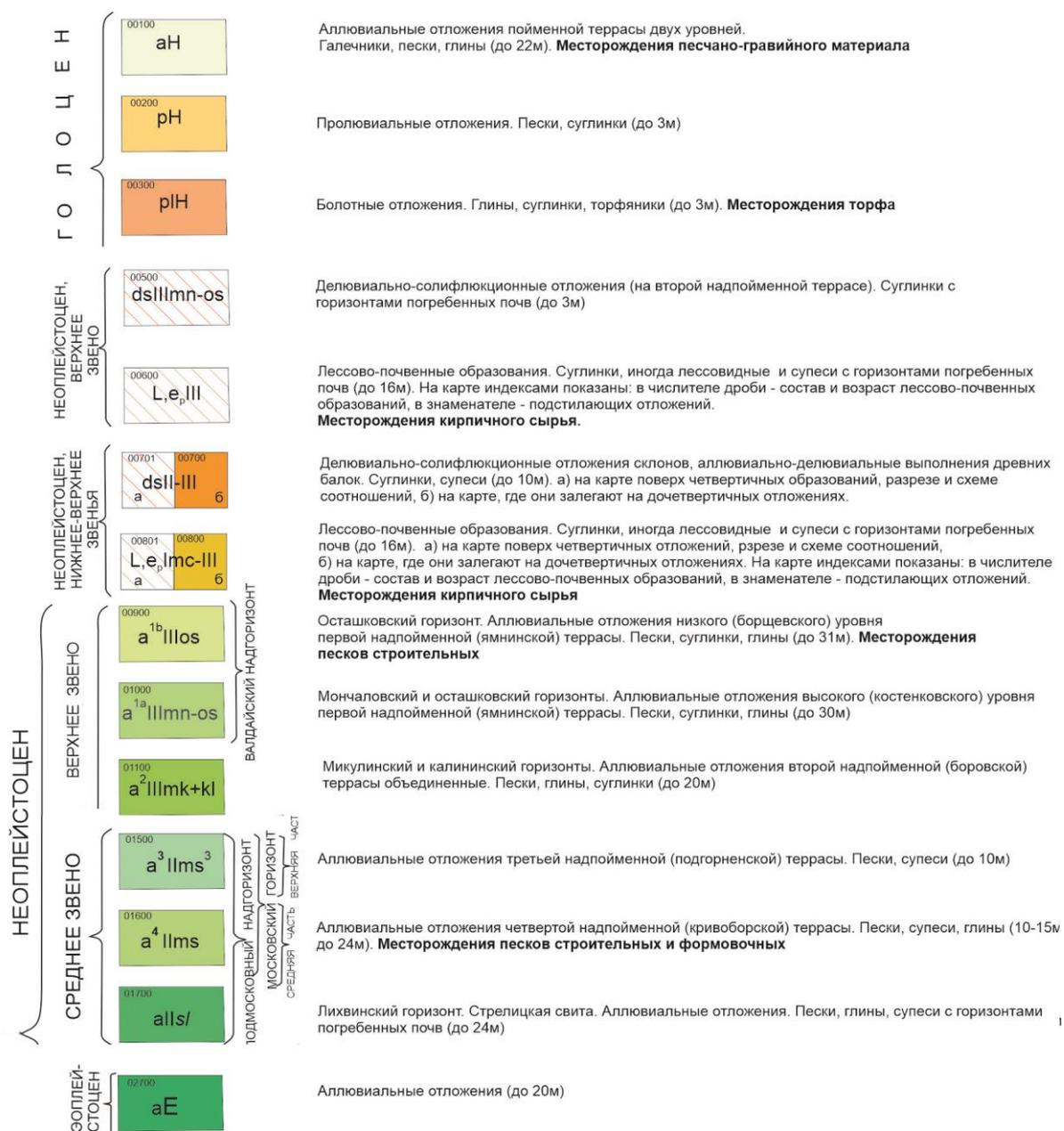


Рис. 1.5 Фрагмент условных обозначения к геологической карте четвертичных отложений масштаба 1:200000 [28]

Геоморфология

Долина реки Усмань относится к *аккумулятивным поверхностям, созданным флювиальной речной аккумуляцией*, и включающие в себя на территории практики поверхности поймы и первой надпойменной террасы.

Поверхность пойменной террасы. Пойменная терраса разделяется на два уровня: низкая и высокая поймы. Высота низкой поймы - 3,5 м, высокой - 5-6 м, абсолютные отметки 99-102 м. Поверхность поймы плоская, с углублениями старичных озер, заболоченных понижений, древних русел, характерен линейно-меандровый тип миграции русла реки Усмань. Тыловой шов поймы в пределах базы практики «Веневитиново» прослеживается по границе застройки. Все наблюдательные и опытные скважины полигона располагаются на пойме р. Усмань.

Поверхность первой надпойменной террасы ровная, близкая к горизонтальной, местами плавно-бугристая, с абсолютными отметками 105-110 м. Тыловой шов террасы прослеживается на абсолютных высотах - 102-105 м, высота над урезом реки 5-15 м. Бровка и тыловой шов террасы хорошо выражены в рельефе. Поверхность террасы плавно-бугристая с углублениями бывших старичных озер.

1.3. Гидрогеологические условия

Полигон «Веневитиново» расположен в пределах юго-восточной части Московского артезианского бассейна. Подземные воды приурочены к четвертичным, неогеновым, девонским отложениям осадочного чехла и к породам кристаллического фундамента.

Выделяются следующие гидрогеологические подразделения [28]:

1. Водоносный локально слабоводоносный современный аллювиальный горизонт (а IV).

2. Водоносный локально слабоводоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (а III).
3. Водоносный урывский терригенный горизонт (N₂ ur).
4. Водоупорный верхнесемилуцкий карбонатно-терригенный горизонт (D₃sm₂).
5. Слабоводоносный локально водоносный саргаевско-семилуцкий карбонатный комплекс (D₃sr-sm).
6. Слабоводоносный локально водоупорный муллинско-тиманский терригенный комплекс (D₂ml-tm).
7. Водоупорная локально водоносная воробьевско-ардатовская карбонатно-терригенная свита (D₂vb-ar).
8. Водоносный клинцовско-мосоловский карбонатно-терригенный комплекс (D₂kl-ms).
9. Слабоводоносная архей-протерозойская зона кристаллических пород (AR-PR).

Глубина изучения гидрогеологических условий на полигоне ограничивается зоной активного водообмена, которая включает неоген-четвертичный, саргаевско-семилуцкий и муллинско-тиманский водоносные комплексы.

Водоносный локально слабоводоносный современный аллювиальный горизонт (а IV).

Горизонт приурочен к пойменным, аллювиальным отложениям (рис. 1.6, 1.7) р. Усмань. Водовмещающие породы представлены разнозернистыми песками с прослоями суглинков в верхней части разреза, с гравием в основании. Коэффициент фильтрации изменяется в широких пределах от 0,5 до 92,5 м/сут, составляя в среднем 5-10 м/сут.

Воды безнапорные, глубина залегания уровня подземных вод 1,2-4 м. Глубина уменьшается к руслу водотока и тыловому шву поймы.

Ввиду отсутствия в основании выдержанного водоупора, водоносный горизонт имеет темную взаимосвязь с подстилающим его водоносным урывским терригенным горизонтом. Современный аллювиальный горизонт имеет общий уровень вод с верхнечетвертичным аллювиальным горизонтом, к породам которого прислонены современные аллювиальные отложения. Совместно перечисленные горизонты образуют водоносный неоген-четвертичный аллювиальный комплекс (N-Q). Современный аллювиальный горизонт имеет тесную связь с поверхностными водотоками, являющимися его дренами в межень или питающими его в паводок.

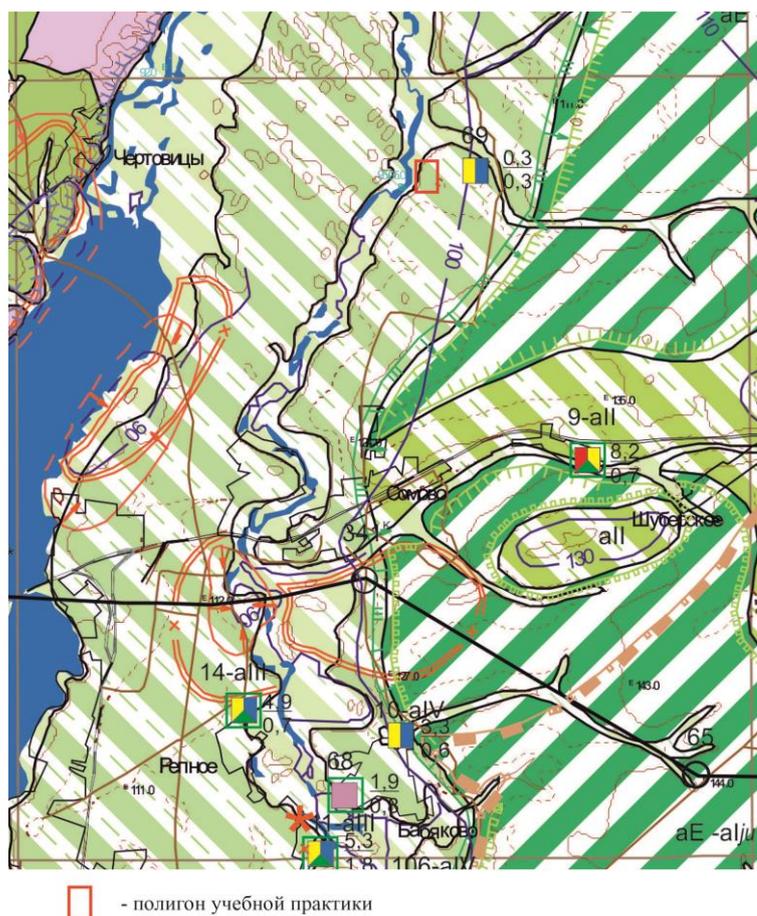
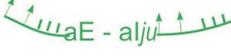


Рис. 1.6 Фрагмент гидрогеологической карты первых от поверхности водоносных горизонтов масштаба 1:200000 [28].

I. Гидрогеологические подразделения (горизонты, подгоризонты, комплексы)

Первые от поверхности	Залегающие выше первых от поверхности	Залегающие ниже первых от поверхности	Наименование гидрогеологических подразделений
 aIV			Водоносный локально слабодонаосный современный аллювиальный комплекс
 pr,d I-III			Водоносный локально слабодонаосный нижне-верхнечетвертичный почвенно-лессовый комплекс
	*  pr,d I-III		Проницаемый неводонаосный нижне-верхнечетвертичный почвенно-лессовый комплекс
	 pr,d I-III		Слабопроницаемый неводонаосный нижне-верхнечетвертичный почвенно-лессовый комплекс
 aIII			Водоносный локально слабодонаосный верхне-четвертичный аллювиальный горизонт
	 aIII		Проницаемый неводонаосный верхне-четвертичный аллювиальный горизонт
 all		 all	Водоносный локально слабодонаосный средне-четвертичный аллювиальный горизонт
	*  all		Проницаемый неводонаосный средне-четвертичный аллювиальный горизонт
 aE - alju		 aE - alju	Водоносный локально водоупорный эоплейстоцен-нижнечетвертичный аллювиальный комплекс
	*  aE - alju		Проницаемый неводонаосный эоплейстоцен-нижнечетвертичный комплекс
			Гидрогеологические подразделения дочетвертичных образований

* показаны на карте единым контуром распространения (pr,d I-III; a II; os I dns; aE-a I ju)

Рис. 1.7 Фрагмент условных обозначений к гидрогеологической карты первых от поверхности водоносных горизонтов масштаба 1:200000 [28].

Водообильность современного аллювиального горизонта, в целом, невелика. Удельные дебиты скважин и колодцев обычно не превышают 0,6-1,0 л/с. Дебиты родников также небольшие, от 0,1 до 0,3 л/с.

Химический состав вод горизонта пестрый, что неразрывно связано с совпадением областей питания и распространения. Наиболее широкое распространение получили воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, пресные, с минерализацией 0,2-0,5 г/л, общей жесткостью от 0,8 мг-экв/л до 42,5 мг-экв/л, нейтральной, слабокислой, слабощелочной реакцией среды (рН 8,1-5,8).

Питание горизонта осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков, речных вод в паводковый период и подтока вод из всех смежных гидрогеологических подразделений зоны активного водообмена. Дренируется комплекс реками и родниками.

В долине р. Усмань горизонт эксплуатируется многочисленными скважинами совместно со смежными гидрогеологическими подразделениями.

Водоносный локально слабоводоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (а III). На изучаемой территории горизонт включает обводненные аллювиальные отложения первой надпойменной террасы. Водовмещающими породами являются разномерные пески, часто с гравийно-галечными отложениями в основании и прослоями супесей, суглинков в верхней части разреза. Коэффициент фильтрации изменяется от 0,3 до 10 м/сут, увеличиваясь для гравийно-галечников и грубозернистых песков до 30,0-88,3 м/сут.

Горизонт залегает первым от поверхности, как правило, безнапорный, со свободным уровнем на глубине 0,3-8,0 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод несколько увеличивается вблизи бровки террасы и уменьшается в ее тыловой части, что нередко вызывает заболачивание.

Водоупорное основание у горизонта отсутствует, поэтому он имеет темную взаимосвязь с подстилающим его урывским горизонтом.

Водообильность горизонта в целом незначительна. Удельные дебиты скважин и колодцев колеблются от 0,03 до 0,88 л/с, но иногда достигают 1,1-2,8 л/с.

Химический состав вод горизонта довольно пестрый. Наиболее широкое распространение получили воды гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые, пресные, с минерализацией 0,4-1,0 г/л, общей жесткостью от 0,96 до 35,4 мг-экв/л, слабокислой, нейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН 6,0-7,8).

Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока вод из смежных гидрогеологических подразделений. Дренируется горизонт за счет перетока в примыкающий современный аллювиальный горизонт.

Воды описанного горизонта широко используются населением для мелкого хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Водоносный урывский терригенный горизонт (N_2 ur). Приурочен к отложениям урывской свиты плиоцена ([Рис. 1.8](#), [1.9](#)). Вода приурочены к аллювиальным песчаным отложениям. Разрез сложен толщей песков различной зернистости и глинистости, глинами, реже суглинками.

Описываемый водоносный горизонт гидравлически тесно связан с вышележащими водоносными подразделениями, т.к. имеет с ними единый уровень и не отделен от них водоупором. Подстилается горизонт водоупорными верхнесемилюкскими глинами.

Значения коэффициентов фильтрации, изменяются от 0,4 до 26,6 м/сут, а преобладают – 2-3 м/сут. Горизонт обладает довольно высокой водообильностью. Удельные дебиты скважин, по данным опытных и пробных откачек, изменяются от 0,06 до 3,5 л/с, преобладает 0,2 л/с.

Воды горизонта пресные (минерализация в целом не превышает 1 г/л), гидрокарбонатного магниево-кальциевого, реже сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого типа.

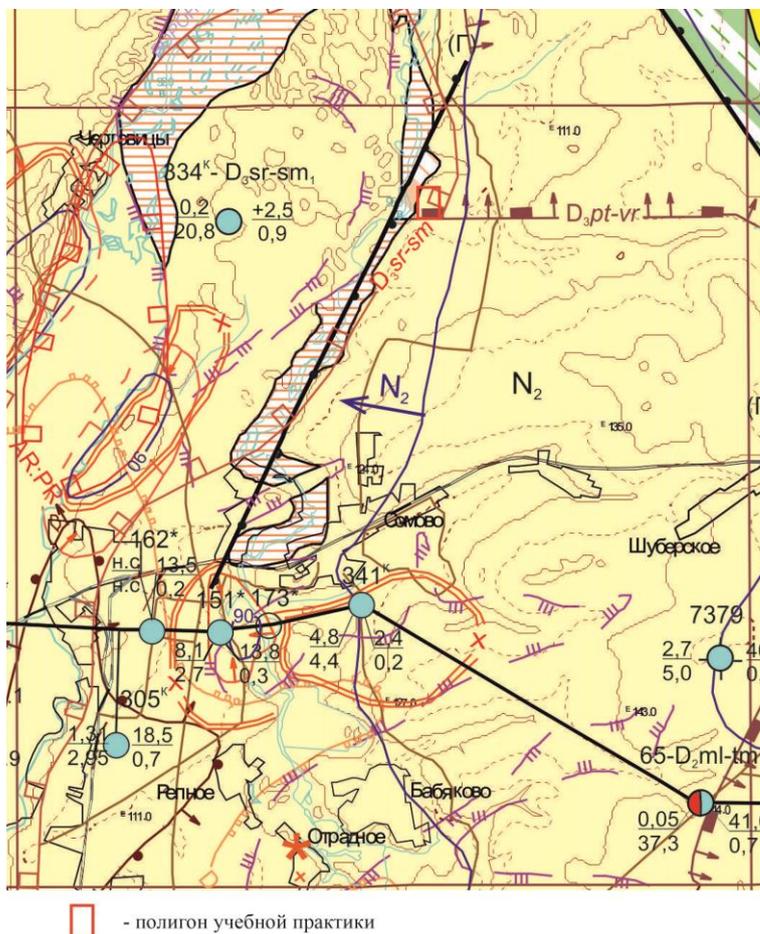


Рис. 1.8 Фрагмент гидрогеологической карты дочетвертичных образований масштаба 1:200000 [28].

Питание горизонта происходит за счет перетока вод из выше- и ниже-лежащих гидрогеологических подразделений. Движение вод происходит к реке Воронеж, которая дренирует водоносный горизонт.

Горизонт подвержен загрязнению за счет тесной взаимосвязи с выше-лежащими водоносными подразделениями.

Водоносный горизонт эксплуатируется месторождениями «Боровое-Репное», «Отроженское» и большим количеством одиночных скважин.

Первые от поверхности картирования	Залегающие выше первых от поверхности выдержанных по площади водоносных подразделений	Залегающие ниже первых от поверхности выдержанных по площади водоносных подразделений	Наименование гидрогеологических подразделений: горизонт, комплекс, свита, серия.
			Водоупорный неогеновый элювиальный горизонт
			Водоносный плиоценовый терригенный комплекс
			Водоносный миоценовый терригенный комплекс
			Проницаемый локально - водоносный миоценовый терригенный комплекс
			Проницаемая неводоносная турон - сантонская карбонатная серия
			Водоносный локально - слабОВОдоносный готерив - сеноманский терригенный комплекс
			Водоупорный батский терригенный горизонт
			Водоупорная локально - водоносная евлановско - ливенская карбонатно - терригенная свита
			Водоносная локально - слабОВОдоносная петинско - воронежская терригенно - карбонатная свита
			Водоупорный верхнесемилукский терригенный горизонт
			СлабОВОдоносный локально - водоносный саргаевско - нижнесемилукский карбонатный комплекс

Рис. 1.9 Фрагмент условных обозначений к гидрогеологической карты дочетвертичных образований масштаба 1:200000 [28]

Водоупорный верхнесемилукский терригенный горизонт ($D_3 sm_2$). Приурочен к отложениям верхней подсвиты семилукской свиты верхнего девона (Рис.1.10). Представлен аргиллитоподобными глинами с маломощными прослоями мергелей и известняков. Мощность горизонта составляет около 12 м.

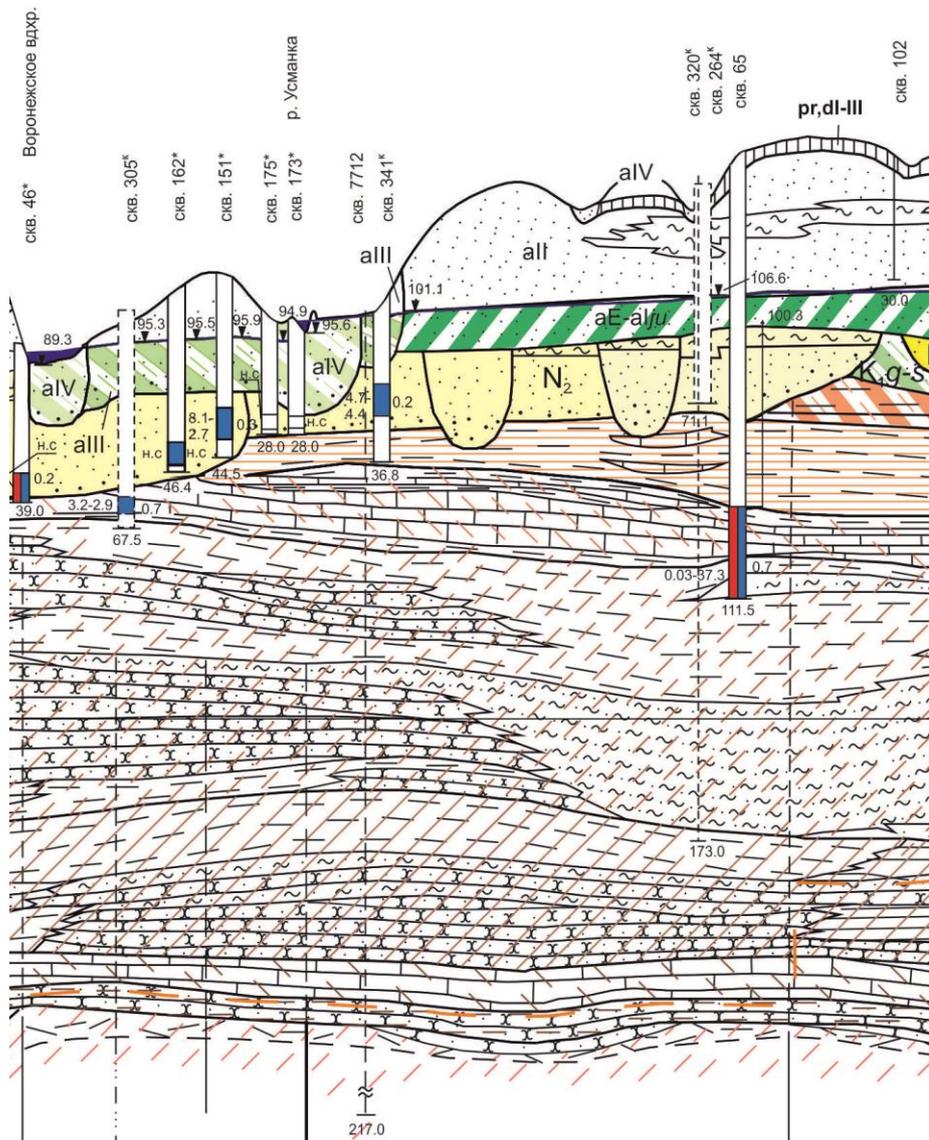


Рис. 1.10 Фрагмент гидрогеологического разреза масштаба: горизонтальный 1:200000, вертикальный 1:10000 [28].

Слабопроницаемые глины служат нижним водоупором для вышележающих гидрогеологических подразделений и надежным верхним водоупором от попадания загрязненных вод для слабОВОдоносного локально-водоносного саргаевско-нижнесемилукского карбонатного комплекса.

Слабоводоносный локально-водоносный саргаевско-нижнесемилукский карбонатный комплекс ($D_3 sr-sm_1$).

На описываемой территории комплекс залегает на муллинско-тиманской терригенной толще, перекрывается водоупорным верхнесемилукским карбонатно-терригенным горизонтом. Глубина залегания подошвы комплекса – 78м (абсолютная отметка 22.0м), кровли – 58м (абсолютная отметка 42,0м). Представлен известняками в различной степени трещиноватыми, как правило, кавернозными с подчиненными прослоями мергелей и аргиллитоподобных глин мощностью до 20м. Значения коэффициентов фильтрации по данным откачек изменяются от 0.003 до 340 м/сут, в среднем составляя 0,2-1,4 м/сут.

Водообильность комплекса сравнительно невелика. Удельные дебиты изменяются от 0.001 л/с до 17 л/с, преобладают 0.002-0.2 л/с.

Воды комплекса от весьма пресных до слабосоленоватых, преобладают воды весьма пресные хлоридно-гидрокарбонатного натриевого, гидрокарбонатного магниево-кальциевого и натриево-кальциевого, реже сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого смешанного типов с минерализацией 0,6 г/л.

В кровле комплекса залегает верхнесемилукский водоупор, который является надежным перекрытием от попадания загрязняющих компонентов. Водоупорного основания комплекс практически не имеет. Воды напорные, величина напора достигает 40-60м.

Питание комплекса происходит путем перетока вод из вышележащих гидрогеологических подразделений в местах отсутствия водоупорных слоев или медленного просачивания через глинистые слои и тектонические нарушения. Разгрузка осуществляется в более глубокие гидрогеологические подразделения и в долинах рек, в местах отсутствия водоупорных слоев.

Воды комплекса широко используются для водоснабжения с помощью одиночных скважин.

Слабоводоносный локально водоупорный муллинско-тиманский терригенный комплекс (D₂ ml-tm).

Комплекс залегает под саргаевско-нижнесемилуцким карбонатным комплексом. В районе работ вскрывается на глубине 78м (абсолютная отметка 22.0м). Водовмещающие породы представлены алевролитами, алевролитами и песчаниками.

Коэффициент фильтрации описываемой толщи составляет от 0,05 до 2,7 м/сут. Водообильность пород низкая. Удельные дебиты изменяются от 0,01 до 1,5 л/с, в среднем составляют 0,09-0,5 л/с. Глубина залегания подошвы комплекса достигает 123,5м (абсолютная отметка – 23,5м).

Верхним водоупором для комплекса являются отложения верхнечаплыгинской подсвиты (усманские слои) - аргиллитоподобные глины, залегающие в подошве нижнечаплыгинской подсвиты. Нижним водоупором служат аргиллитоподобные глины муллинской свиты. Воды напорные, величина напора составляет 70-80м.

По химическому составу воды преимущественно хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 0,5г/л. Вода слабощелочная (рН 7-8).

Питание комплекса происходит в основном за счет перетока вод из вышележащих гидрогеологических подразделений по зонам повышенной проницаемости и за счет подпитки водами нижележащих гидрогеологических подразделений.

Комплекс хорошо защищен от попадания в него загрязненных вод.

Использование вод для водоснабжения затруднительно из-за большой глубины залегания и низкой водообильности.

1.4. Инженерно-геологические условия

На территории полигона первыми от поверхности залегают следующие стратиграфо-генетические комплексы пород [28]:

- голоценовые аллювиальные отложения пойменной террасы (а IV);
- верхнеоплейстоценовые аллювиальные отложения первой и второй надпойменных террас (а III).

Голоценовые аллювиальные отложения пойменной террасы (а IV). Развиты в пределах поймы. Залегают на размытой поверхности неогеновых аллювиальных образований, перекрываются почвенно-растительным слоем и на небольших участках болотными отложениями.

Литологический состав отложений поймы представлен разнозернистыми, преимущественно мелкими песками с прослоями и линзами в верхней части разреза глин, суглинков.

Глинистые отложения комплекса представлены преимущественно суглинками. Суглинки комплекса легкие песчанистые, до легких пылеватых, от полутвердых до мягкопластичных. Коэффициент пористости обычно составляет 0.60-0.65.

Пески комплекса представлены различными по гранулометрическому составу фракциями, преобладают пески мелкие. Коэффициент фильтрации песков в зоне аэрации - 1.54-9.04 м /сут.

Породы комплекса обводнены. Грунтовые воды залегают на глубине 1,2-3,0 м. По отношению к бетону из любых марок цемента воды не агрессивные или редко с выщелачивающей, или сульфатной агрессивностью.

Верхнеоплейстоценовые аллювиальные отложения первой и второй надпойменных террас (а III). Данный комплекс объединяет аллювиальные отложения первой и второй террас.

В литологическом отношении породы комплекса представлены преимущественно песками. На отдельных участках террас пески в верхней ча-

сти замещаются суглинками легкими пылеватыми суглинками. Выше уровня грунтовых вод (УГВ) суглинки твердые до полутвердых, ниже УГВ – тугопластичные, мягкопластичные.

Пески разнозернистые, преимущественно мелкие и средней крупности. В верхней части пески рыхлые и средней плотности, на глубине 8-10 м плотные. Коэффициент фильтрации зоны аэрации изменяется от 0,5 до 15,0 кг/сутки.

2. Изучение режима подземных вод

Изучение режима подземных вод является одним из основных видов работ в общем комплексе гидрогеологических исследований.

Под режимом подземных вод понимают процесс изменения уровня, расхода, температуры и химического состава подземных вод во времени и пространстве. Различают естественный и нарушенный режим подземных вод [16].

Естественным режимом считают режим, который обусловлен воздействием различных природных факторов: климатических, геоморфологических, гидрологических и гидрогеологических. Нарушенный режим формируется под воздействием искусственно создаваемых факторов.

Выделяют три основных вида режима подземных вод: приречный, склоновый и междуречный.

Приречный вид режима характеризуется гидравлической связью потока подземных вод с рекой, поэтому колебания уровня подземных вод здесь существенно зависят от колебаний уровня воды в реке. Характер дренированности подземного потока периодически меняется: в межень дренированность его максимальная, а во время паводка может отсутствовать вообще, так как речные воды питают подземные. После спада паводковых вод в течение длительного времени происходит сток инфильтрующихся вод в реку. Продолжительность стока зависит от фильтрационных свойств отложений, уклонов потока, длительности паводка и степени расчлененности поймы. Кривая колебания уровня подземных вод здесь характеризуется резким подъемом в паводок и постепенным спадом после его прохождения, осложненным колебаниями, связанными с атмосферными осадками.

Склоновый вид режима характеризуется повышенными уклонами потока подземных вод и привязан к ориентирующим их склонам долины реки, склонам горных массивов, сильно расчлененных возвышенностей и др.

Дренированность этих участков довольно интенсивная и почти не меняется во времени. Кривая колебания уровня подземных вод характеризуется подъемом уровня весной в связи с таянием снегов, а иногда летом и осенью в связи с дождями. Пики подъемов следуют с запозданием по сравнению с пиками повышения уровня подземных вод прилегающего междуречья.

Междуречный или водораздельный тип режима формируется под влиянием переменных во времени инфильтрации атмосферных осадков, испарения и подземного стока. Дренированность участка обычно бывает слабая, поэтому уклоны потоков подземных вод небольшие.

Наблюдения за режимом подземных вод проводят на специально оборудованной для этой цели сети наблюдательных пунктов (скважин, колодцев, источников).

Если имеется связь поверхностных вод с подземными, при изменении уровня поверхностных вод происходит изменение уровня подземных вод, которое в наблюдательных точках прибрежной полосы сказывается по-разному, в зависимости от водопроницаемости пород и расстояния наблюдательной точки от водоема. Изучение этой зависимости является основной целью режимных наблюдений во время проведения учебной практики.

В районах с естественным режимом в скважинах, расположенных на пойме и в прибрежной части долины, замеры уровней воды в межень обычно ведут через 3-5 дней. В периоды паводков, ливневых или продолжительных дождей замеры уровня воды в выборочных наблюдательных точках, расположенных на приречных участках, в карстовых областях, *на участках с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод*, проводят ежедневно [16].

Замеры уровня воды в реках и других водоемах проводят в те же сроки, что и в наблюдательных скважинах, так как это необходимо для сопоставления полученных данных. Наблюдения на всех водопунктах проводятся по возможности в одно и то же время.

В настоящее время замеры уровня проводят, как правило, электроуровнемерами. Электроуровнемеры работают по принципу замыкания водой цепи электрического тока, проходящего между датчиком, опускаемым в скважину, и землей (обсадной трубой). Уровень воды измеряют проводом, имеющим разметку на метры и дециметры, и линейкой с делениями на сантиметры и миллиметры, укрепленной на корпусе уровнемера. Касание датчиком воды в скважине определяют по миллиамперметру, вмонтированному в корпус прибора (рис. 2.1).

Для измерения уровня применяются и лотовые приборами, состоящими из стальной рулетки с наконечником - лотом, прикасающимся к воде (хлопушка, свисток, уровнемер и т.п.), производится 2 раза подряд: если второй раз получается новый отсчет, то двукратное измерение повторяется снова. Точность измерения - ± 1 см. Все измерения уровня производят от занивелированной марки на краю обсадной трубы, на срубе колодца и т.п.

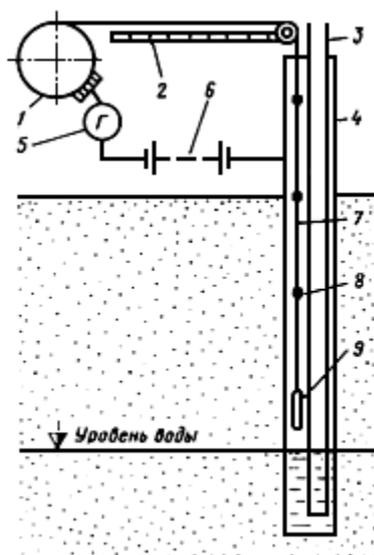


Рис. 2.1 Конструкция электроуровнемера:

1 - барабан; 2 - рейка со шкалой; 3 - насосная труба; 4 - обсадная труба; 5 - гальванометр; 6 - электробатарея; 7 - провод; 8 - бирка; 9 - наконечник-датчик

При измерениях уровня воды на глубине до 10 м можно применять хлопушку (лотовый прибор), представляющую собой полую металлическую трубку диаметром 1,5-2 и длиной 5-7 см, один конец которой забит деревянной пробкой, или выточенный стаканчик. К пробке прикрепляют кольцо, к которому привязывают размеченный стальной трос. В момент соприкосновения хлопушки с поверхностью воды раздается глухой хлопающий звук. Точность замера уровня хлопушкой составляет ± 1 см.

Расстояние между нулем рулетки и нижним краем хлопушки или свистка измеряют и записывают в полевую книжку, так как оно является поправкой к замерам. Эту поправку проверяют 1 раз в декаду, о чем делают соответствующую отметку в полевой книжке.

Все измерения уровня производятся от края обсадной или пьезометрической трубы. Превышение ее над поверхностью земли должно быть измерено и занесено в журнал режимных наблюдений (Приложение 1).

В журнал вносятся данные глубины уровня подземных вод от поверхности земли, которые вычисляются следующим образом: от глубины уровня подземных вод, измеренного от края обсадной или пьезометрической трубы, вычитается высота оголовка скважины (превышение края обсадной или пьезометрической трубы над поверхностью земли).

Наблюдения за температурой подземных вод проводятся одновременно с наблюдениями за уровнем подземных вод. Измерения осуществляются специальными приборами (водяными термометрами, электронными регистраторами температур) в интервале установки фильтра.

При измерениях термометр держат в воде в течение нескольких минут. Отсчет по нему производится немедленно после извлечения его из воды. Точность измерений - до $0,1^{\circ}\text{C}$. Сначала отсчитываются десятые доли градуса, а затем целые градусы.

Результаты измерений уровней и температур подземных вод записываются наблюдателями в журнал наблюдений непосредственно около скважины (Приложение 1). После окончания измерений наблюдатель должен в тот же день переписать все результаты в электронную таблицу установленной формы ([Приложение 1](#)) [22].

На учебном полигоне «Веневитиново» существует куст из шести наблюдательных скважин, оборудованных на неоген-четвертичный и девонский водоносные комплексы. В геоморфологическом плане участок приурочен к пойме реки Усмань. Данные наблюдательные скважины входят в систему наблюдательных пунктов Территориального Центра Государственного мониторинга геологической среды по Воронежской области.

В период прохождения учебно-полевой практики студентами проводятся режимные наблюдения за уровнем подземных вод (УПВ) в наблюдательных скважинах и за уровнем воды в реке Усмань. Частота наблюдения – два раза в сутки (утро, вечер). Наблюдения за уровнем подземных вод проводятся по наблюдательных скважинах №3, №4, №5 за уровнем воды в р. Усмань – по гидрометрической рейке. Абсолютная отметка края оголовка (патрубка) скв. №3 – 98,0, высота оголовка – 0,6 м. Абсолютная отметка нуля гидрометрической рейки (гидрометрического поста) – 95,5 м. Параллельно с наблюдением за уровнями фиксируются климатические параметры: температура, атмосферные осадки, давление.

Результаты наблюдений записываются в журналы наблюдений ([Приложение 1](#)).

Наблюдения за уровнем воды в р. Усмань проводятся по гидрометрической рейке (ГР), установленной в створе наблюдательных скважин.

Замеры уровня в наблюдательных скважинах проводятся лотовым прибором (хлопушкой) от края оголовка наблюдательных скважин (от зафиксированной отметки) с точностью до 1 см.

Во время текущей камеральной обработки материалов данные замеров уровней заносятся в электронную таблицу Excel ([таблица 2.1](#)).

Таблица 2.1 Результаты режимных наблюдений

Высота оголовка скважины 0,6 м
 Абсолютная отметка оголовка 98,0 м
 Абсолютная отметка нуля гидрометрической рейки 95,5 м

Дата	Набл. скважина №3			Гидрометрическая рейка			Климатические параметры:		
	Глуб., м	А. О., м	Темп., °С	Отсчет по рейке, м	А. О., м	Темп., °С	Темп., °С	Осадки, мм	Давл., мм

По окончании работ, в камеральный период, в электронном процессе Excel строятся графики результатов наблюдений за абсолютными отметками воды в реке и наблюдательных скважинах ([рис. 2.2](#)), а также сравнительные графики уровней в прошлые годы наблюдений.

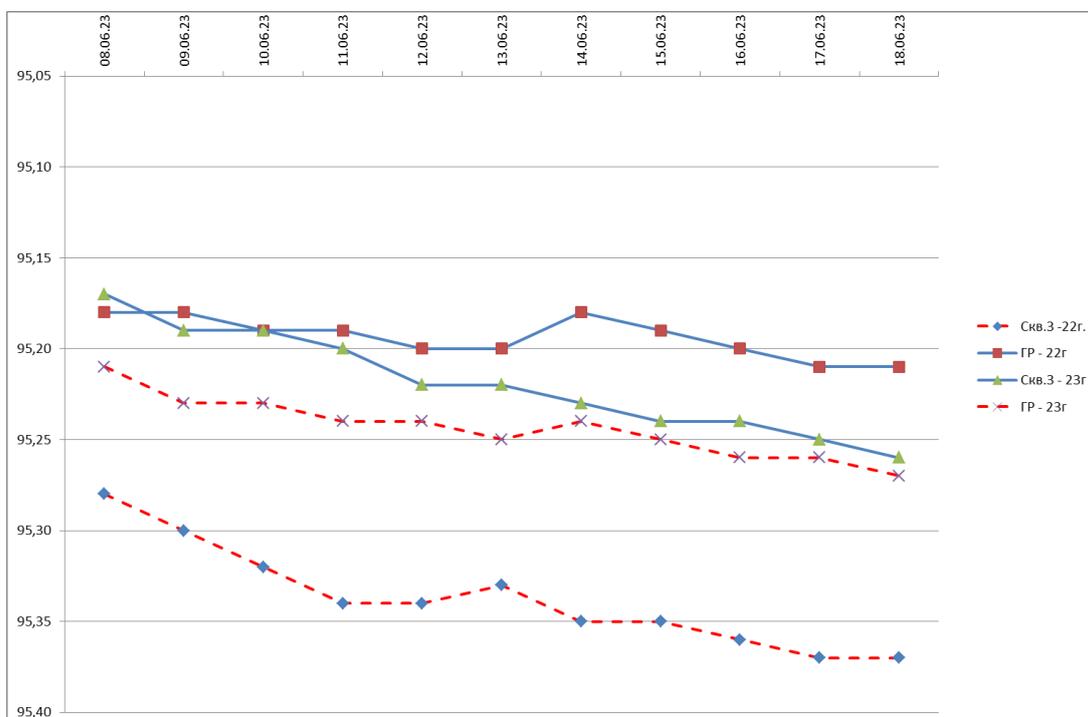


Рис. 2.2 Графики колебания уровня подземных вод в наблюдательных скважинах и уровня воды в р. Усмань.

Журналы наблюдений и графики приводятся в отчете о практике, в главе «Изучение приречного режима подземных вод».

По окончании практики студенты должны дать подробный анализ уровня режима подземных вод (за наблюдаемый период), увязать колебания УПВ с другими факторами (климатическими условиями, гидрологическим режимом реки, техногенным влиянием и др.), оценить взаимосвязь подземных и поверхностных вод по данным стационарных наблюдений за УПВ и уровнем воды в реке Усмань.

Для производства химического анализа пробы отбираются из струи воды, подаваемой специальным насосом, в чистую стеклянную или полиэтиленовую посуду с плотной крышкой. Перед отбором посуда и крышка ополаскиваются 2-3 раза отбираемой водой. На каждую пробу крепится этикетка с указанием места отбора, даты отбора и вида определения. В течение 24 часов пробы передаются в аттестованную лабораторию для аналитического исследования. Если проба воды не может быть проанализирована в день отбора, ее необходимо законсервировать и доставить в лабораторию не позднее 3-х суток после её отбора. Набор консервантов определяет лаборатория-исполнитель.

Объем проб воды на ПХА 1,5 л, органолептические показатели – 0,5 л, микрокомпоненты – 3 л. Для направления в лабораторию проб воды на анализ составляется ведомость отбора проб (Приложение 2) в двух экземплярах: первый экземпляр направляется в лабораторию, второй экземпляр остается у недропользователя.

Оценка взаимосвязи подземных и поверхностных вод

Как известно, при оценке запасов подземных вод и проектировании водозаборов на прибрежных участках решаются две взаимосвязанные зада-

чи: 1 – определение возможной производительности водозабора; 2 – установление пропускной способности русловых отложений (количества воды которое может профильтроваться из реки в водоносный горизонт, обеспечивая его дополнительное питание). Степень гидравлической взаимосвязи подземных и поверхностных вод определяется суммарным сопротивлением русловых отложений ΔL , обусловленным несовершенством вреза реки в водоносный горизонт, наличием слабопроницаемых заиленных подрусловых отложений и неоднородностью аллювия.

Если для решения первой задачи необходимым параметром является водопроницаемость целевого горизонта (km) и суммарное дополнительное сопротивление подрусловых отложений ΔL , то для решения второй задачи необходимо определить и коэффициент сопротивления подрусловых отложений A_0 .

При расчетах для условий установившегося движения подземных вод наибольшее распространение получил метод учета общего сопротивления подрусловых отложений, предложенный В.М. Шестаковым, основанный на увеличении истинного расстояния от водозабора до реки на величину ΔL (при этом принимается, что дополнительное сопротивление, связанное с увеличением длины потока на величину ΔL будет эквивалентно сопротивлению русловых отложений). Величина дополнительного сопротивления ΔL , которая используется при этом методе, связана с параметрами пласта (km) и заиленного слоя (k_0, m_0) следующей зависимостью:

$$\Delta L = \sqrt{kmA_0 \operatorname{ctg} \frac{2b}{\sqrt{kmA_0}}} \quad (2.1)$$

$A_0 = \frac{m_0}{k_0}$ – коэффициент сопротивления заиленного слоя по руслом реки (k_0 и m_0 – коэффициент фильтрации (м/сут) и мощность заиленного

слоя (м)), b – половина ширины реки (м), km – водопроницаемость целевого водоносного горизонта ($m^2/сут$).

Определение коэффициента сопротивления подрусловых отложений A_0 выполняется путем решения обратной задачи по формуле 2.1, при известных значениях водопроницаемости целевого горизонта (km) и ΔL .

Водопроницаемость целевого горизонта определяется по результатам опробования центральной и наблюдательных скважин опытного куста на полигоне «Веневитиново». Средняя величина водопроницаемости неоген-четвертичного водоносного комплекса на участке учебного полигона составляет: $km = 240 m^2/сут$.

Одним из способов определения ΔL являются наблюдения за естественным режимом реки и по створу из двух скважин, расположенному нормально к реке. При этом используется формула:

$$\Delta L = \frac{H_2 - H_1}{H_1 - H_p} (l_2 - l_1) l_1 \quad (2.2)$$

где: H_2 , H_1 , H_p – абсолютные отметки уровня воды в дальней (H_2) и ближней (H_1) наблюдательных скважинах и реке (H_p); l_2 , l_1 – расстояния от уреза реки, соответственно, до дальней и ближней наблюдательных скважин.

Для определения ΔL используются результаты ежедневных режимных наблюдений по наблюдательным скважинам, расположенным на перпендикулярном к реке луче. После определения ΔL по формуле 2.2, выполняется расчет A_0 , решением обратной задачи по формуле 1.

Полученные результаты используются при характеристике гидрогеологических условий при составлении отчета по учебной практике.

3. Буровые работы, первичное описание грунтов, отбор монолитов грунтов

Во время проведения практики студентам демонстрируются три основных способа бурения инженерно-геологических и гидрогеологических скважин: колонковый, ударно-канатный, шнековый.

Колонковое бурение - это вращательное бурение, при котором разрушение породы осуществляется не по всей площади забоя, а по кольцу с сохранением внутренней части породы в виде *керн* ([рис.3.1](#)). Частицы разрушенной породы удаляются из забоя и выносятся на поверхность промывочной жидкостью или воздухом.

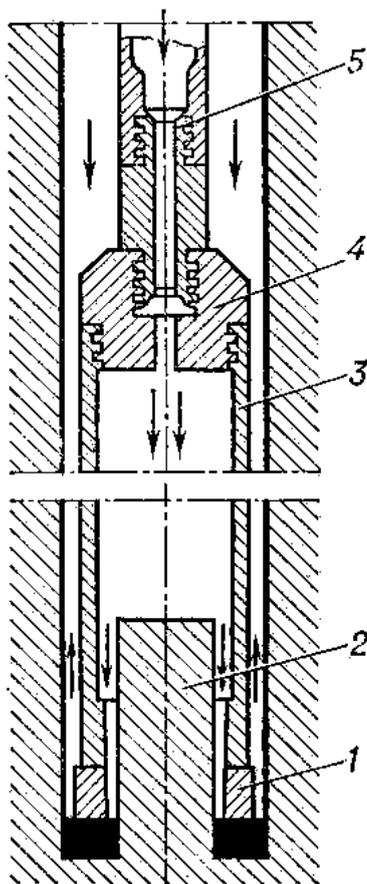


Рис. 3.1. Схема обуривания керна при колонковом бурении: 1 - буровая коронка; 2 - керна; 3 - колонковая труба; 4 - переходник; 5 - колонна бурильной машины

рильных труб для подачи промывочной жидкости к забою, вращения колонки и передачи осевой нагрузки на неё.

Колонковое бурение осуществляется буровыми установками, с помощью которых производятся спуск и подъём инструмента, вращение и подача бурового снаряда и др. операции.

Ударно-канатное бурение скважин – это самый простой метод бурения, который может применяться для бурения скважин практически в любых грунтах. Наиболее эффективен этот способ бурения в обводненных грунтах

Установка для ударно-канатного бурения состоит из следующих элементов: забивной стакан или желонка, ударная штанга, трос, каркас установки, блок, лебёдка.

Забивной стакан – представляет собой кусок трубы, в нижней части которой есть упрочненная режущая кромка со скосом внутрь стакана. Эта кромка позволяет стакану глубже врезаться в грунт при ударе. На верхней части бурового стакана располагается наковальня, по которой совершает удары ударная штанга. С помощью лебедки забивной стакан поднимают над забоем и отпускают его. Стакан врезается в грунт и захватывает его часть. За счет сил трения грунт удерживается внутри стакана, когда его поднимают. После нескольких ударов, забивной стакан, заполненный грунтом, поднимают на поверхность и опустошают. Затем процедура бурения продолжается. Забивные стаканы можно использовать только при бурении достаточно мягких и нессыпучих пород.

Для ударно-канатного бурения сыпучих и обводненных пород используется желонка. В отличие от забивного стакана в нижней части желонки есть клапан, который открывается, когда желонка врезается в грунт, и позволяет сыпучему грунту попадать внутрь. Когда желонку поднимают вверх, под действием давления со стороны захваченного грунта клапан за-

крывается и не даёт грунту высыпаться. Желонку поднимают на поверхность и очищают, после чего процедура повторяется.

Если канатно-ударное бурение скважины происходит в сыпучих грунтах, или хотя бы с прослойками такого грунта, то эти самые сыпучие грунты будут засыпать скважину. Чтобы этого не происходило нужно уже в процессе бурения опускать обсадные трубы.

На первом отрезке обсадной трубы делают конусный расширительный башмак. По мере увеличения глубины скважины, обсадные трубы под собственным весом или под действием давления станка опускаются вниз. Диаметр обсадных труб должен быть несколько больше, чем диаметр забивного стакана, чтобы последний мог свободно перемещаться в скважине. Таким образом, диаметр скважины оказывается меньше диаметра обсадных труб, и часть грунта со стенок скважины срезается самой обсадной трубой

Шнековое бурение - это вращательное бурение, при котором разрушенная порода доставляется из скважины на поверхность шнеком (бурильной трубой с навитой на ней стальной лентой). Для шнекового бурения применяют буровые установки с подвижным вращателем с повышенным крутящим моментом, имеющие ход подачи в 1,5-2,0. Шнеки соединяются между элементами фигурного сечения (шестигранник). Разрушение породы на забое при шнековом бурении происходит путём резания и разрыхления породы лопастным буровым долотом. При бурении плотных пород и гравийно-галечных отложений используются долота, лопасти которых обращены к забою под углом $\sim 90^\circ$, в мягких и рыхлых породах - $30-60^\circ$. Подъём породы происходит благодаря её скольжению по шнековой спирали, поскольку трение породной массы о поверхность шнека меньше, чем трение о стенки скважины. При нормальном транспортировании разрушенная порода заполняет 0,2-0,4 объёма межвиткового пространства. Производительность шнекового транспортёра обычно больше или равна производительности

сти долота, выраженной в объеме разрушенной породы (с учётом её рыхления в 1,3-1,6 раза).

Шнековое бурение используется для проходки скважин глубиной до 50, диаметром от 60 до 600-800 мм в мягких и рыхлых породах, а также в породах средней твёрдости, при ведении сейсморазведочных, геологоразведочных, взрывных работ, а также инженерно-геологических изысканиях, сооружении гидрогеологических скважин. Преимуществами шнекового бурения являются высокая скорость и простота организации работ.

Основой бурового инструмента для шнекового бурения служат буровые шнеки составляющие колонну с непрерывной спиральной ребордой от полота или коронки на забое до поверхности ([рис.3.2](#)). В зависимости от разновидности бурения применяют три основных вида шнеков: обычные, в том числе и утяжеленные, магазинные и полые. Наиболее часто применяют обычные буровые шнеки, которые носят также название стандартных буровых шнеков.

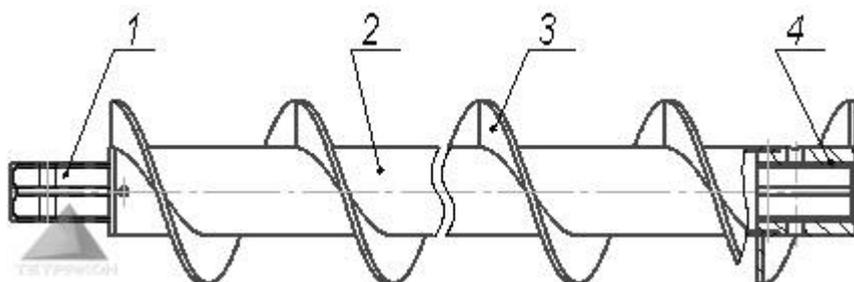


Рис. 3.2 Конструкция шнека

Бурение скважин демонстрируется студентам при помощи самоходной буровой установки ПБУ-2-300.

На полигоне, не далеко от куста опытных скважин проходится скважина глубиной 4-5 м. До уровня подземных вод, ~ 1,2 – 2,0 м скважина проходится колонковым способом в сухую. Диаметр бурения 127 мм.

После достижения уровня грунтовых вод скважина разбуривается шнековым способом диаметром 180 мм. Далее скважина обсаживается об-

садной колонной диаметром 146 мм и бурится ударно-канатным способом с использованием желонки диаметром 127 мм.

Керн, извлеченный различными методами бурения, укладывается в керновый ящик, границы слоев обозначаются фанерными бирками с указанием глубины и геологического индекса. Керновый ящик подписывается с фронтальной стороны и с правого борта, указывается номер скважины и интервал проходки. После заполнения кернового ящика проего водится фотодокументация.

Задача для студентов - по каждой из скважины заполнить буровой журнал (Приложение 3) и провести первичное описание грунтов согласно ГОСТ Р 58325-2018 «Грунты. Полевое описание» [6].

Первичное описание грунтов

Полевое описание грунтов является обязательной частью первичной полевой инженерно-геологической документации, разрабатываемой с целью предварительного определения наименования грунта в соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7], а также оценки его состояния, свойств, структурно-текстурных особенностей и других характеристик.

Полевые записи в буровом журнале следует выполнять простым карандашом средней твердости. Стирать и подчищать записи воспрещается. Неправильная запись зачеркивается так, чтобы можно было прочесть зачеркнутое.

Описание грунтов выполняют на очищенных поверхностях, сколах, срезах керна, образца и грунтах естественного залегания.

Полевая документация описания грунтов в обязательном порядке также содержит следующую дополнительную информацию [6]:

- местоположение горной выработки или обнажения в плане - координаты или ситуационная привязка, на неосвоенных территориях описывают также положение выработки в рельефе;

- положение описываемого грунта относительно устья горной выработки или обнажения (за устьем горной выработки принимают поверхность земли или дна акватории или условную высотную отметку). Условную высотную отметку, от которой ведется описание и отбор образцов в обнажении, как правило, располагают в верхней его части, доступной для установки временного знака и последующей инструментальной привязки;

- методы бурения/проходки/зачистки и пробоотбора;

- используемое оборудование (при механизированной проходке и бурении - марку установки техники, при бурении - тип и диаметр бурового снаряда);

- интервалы опробования для лабораторных исследований;

- методы отбора проб;

- наличие фотоматериалов, рисунков, абрисов и схем, сопровождающих описание;

- должность, ФИО исполнителя описания, дату проходки скважины (горной выработки) и описания грунта, точки наблюдения.

Формы полевой документации определяют стандартом организации, выполняющей инженерные исследования ([Приложение 3](#)).

Основные правила описания грунтов

Первичное описание грунтов проводится согласно ГОСТ Р 58325-2018 «Грунты. Полевое описание» [6].

Описание грунта выполняют непосредственно после его извлечения из грунтового массива или в естественном залегании по признакам, определяемым, как правило, в следующем порядке:

основное наименование - дополнительные наименования - цвет - вещественный состав - состояние - дополнительные характеристики и признаки - полуколичественные показатели свойств или состава.

Схема описания грунтов и состав описываемых признаков определяют принадлежность описываемого грунта к классу, а для дисперсных грунтов - подклассу грунта [7]. Основные группы грунтов: скальные, дисперсные несвязные, дисперсные связные и мерзлые. По основным геотехническим признакам также выделяют специфические грунты.

Идентификация грунтов (определение основного и дополнительных наименований)

Основное наименование грунта присваивают в соответствии с полевым определением типа, подвида или разновидности описываемого грунта по их полевым признакам или показателей свойств и состава.

Основное наименование дают именем существительным и документируют прописными буквами, например «ПЕСОК мелкий». Наименования более высоких таксонов (скальный, дисперсный, осадочный) в описания грунтов не включают, за исключением указания на класс мерзлых грунтов и типов техногенных грунтов, например: «ПЕСОК крупный, мерзлый». «ПЕСОК мелкий, техногенный (намывной)». При полевом описании допускается использовать сокращения, приведенные в ГОСТ Р 58325-2018 [6], либо расшифровка которых приведена в полевой документации.

Дополнительное наименование присваивают в виде имени прилагательного или дополнения на уровне предполагаемой разновидности. Признаки для предварительного определения дополнительного наименования грунта определяют в соответствии с группой грунта.

Для несвязных дисперсных грунтов - гранулометрический состав, наличие включений и примесей.

Для связных дисперсных грунтов - пластичность и консистенция.

Для специфических грунтов - основное геотехническое свойство (заторфованный, пластичный, лессовидный, просадочный, трещиноватый, выветрелый).

Описание цвета в полевой документации обязательно для всех грунтов. Для озерно-болотных, болотных, аллювиально-болотных илов, техногенных грунтов также фиксируют запах, например, «ПЕСОК заиленный, темно-серый, с сильным запахом сероводорода».

Цвет грунта описывают в естественном состоянии, при полном дневном освещении. Допускается описание цвета при искусственном освещении с использованием ламп дневного света или при любом освещении применением сравнительного образца или эталона, цветовых шкал. Для объективного описания цветов рекомендуется пользоваться цветовыми шкалами (палетками), например, выполненными по системе Мунселла, или другими системами, специализированными для определения цвета грунтов (например, цветовая таблица грунтов S133N).

Цвет грунта описывают на свежем срезе или скопе (для скальных грунтов). Сухие грунты смачивают водой.

Подготовительные операции фиксируют в полевой документации примечаниями типа: «светло-бурый, при смачивании - коричневый».

Первичную интерпретацию цвета и его видимых изменений проводят в полевых условиях при естественной влажности.

При проходке буровых скважин описание керна следует выполнять непосредственно после каждого подъема бурового снаряда (рейсами) с указанием проходки.

Описание грунтов инженерно-геологических скважин, дополнительно к общим, также включает в себя:

- наличие (или отсутствие) грунтовых вод, глубину их залегания и установившийся уровень (при наличии), для мерзлых грунтов - глубину кровли (подошвы) мерзлых грунтов;

- характеристику состояния извлеченного керна и его целостности для различных типов грунтов;

- для дисперсных грунтов - степень нарушения по размерам нарушенной периферийной зоны: менее 50 % от допустимого размера нарушенной периферийной зоны - малая степень нарушения, от 50 % до 100 % - допустимая, от 100 % до 200 % - нарушенный образец, более 200 % полностью нарушенный.

Фотодокументацию керна производят после его очистки от шлама или среза нарушенной периферийной зоны. На фотографируемый керн и образцы устанавливают этикетки с номером выработки и интервалом отбора.

В скважинах, которые проходятся на полигоне практик «Веневитиново», вскрываются дисперсные песчаные и глинистые грунты.

Основные правила описания песчаных грунтов

Основными показателями физических свойств песков являются их гранулометрический состав (крупность и однородность) и плотность сложения.

При необходимости получения проб песка ненарушенного сложения используют специальные пробоотборники. Плотность сложения песков может быть приблизительно оценена по характеру проходки или по результатам опережающего зондирования (более точно).

Физические свойства песков в первую очередь определяют их гранулометрическим (зерновым) составом, плотностью сложения и степенью влажности. Также важнейшими показателями при их оценке являются однородность и водопроницаемость.

Плотность песчаного грунта косвенно оценивают по усилиям, затрачиваемым на его разрыхление шанцевым инструментом или буровыми наконечниками. Из структурно-текстурных признаков для песков описывают слоистость. Наиболее характерными для песков являются: горизонтальная, косая и волнистая слоистость.

Крупнообломочные включения характеризуют по форме, крупности, их процентному содержанию в песчаной массе и петрографическому составу. Форму и размер обломков определяют одним термином: гравий (дресва, мелкий щебень), галька (щебень), валуны (глыбы).

Состояние песчаных грунтов зависит от степени их влажности. Определение этого показателя проводят двумя способами: визуальным (таблица 2.2) и расчетным. При визуальной оценке выделяют три состояния грунта в соответствии с ГОСТ 25100: маловлажный, влажный, водонасыщенный (таблица 3.1). Также возможно выделение сухого состояния.

Таблица 3.1 Полевые признаки определения степени влажности песков [6]

Разновидности по таблице В.11 приложения В [7]	Степень влажности грунта по [7]	Признаки
Малой степени водонасыщения	Сухой	Визуально сухой; при сжатии рассыпается
	Маловлажный	При сжатии рукой ощущается холодная масса; при встряхивании в ладони рассыпается на комки
Средней степени водонасыщения	Влажный	В руке при сжатии ощущается влажность; можно придать форму, которая при разжатии держится некоторое время
Водонасыщенные	Насыщенный водой	На ладони при встряхивании расплзается в лепешку
	Переувлажненный	При спокойном состоянии расплзается и растекается

Основные правила описания дисперсных связных (глинистых) грунтов

Основное наименование глинистого грунта (СУПЕСЬ. СУГЛИНОК. ГЛИНА) определяют по характеру раскатывания и вспомогательным признакам [6] ([таблица 3.2](#)).

Таблица 3.2 Вспомогательные признаки определения основного наименования глинистых грунтов

Основное наименование	Вспомогательный признак
СУПЕСЬ	При резанье характерный "шуршащий" звук, поверхность среза шероховатая. В сухом состоянии легко крошится пальцами. Во влажном состоянии сыпуче-пластичен, очень быстро размокает в воде и быстро высыхает. Очень легко смывается слабой струей воды.
СУГЛИНОК	При резании звук отсутствует, поверхность среза гладкая, но могут встречаться мелкие песчинки и макропоры. Во влажном состоянии слабо пластичен, в сухом крошится пальцами и быстро размокает в воде. Легко смывается слабой струей воды. Зернистость основной массы грунта не различима.
ГЛИНА	При резанье звук отсутствует, поверхность среза гладкая, блестящая. Во влажном состоянии пластичен, в сухом не крошится пальцами и размокает в воде с трудом, набухает. Сохнет долго, часто трещины усыхания. Не смывается слабой струей воды или смывается с трудом, липкий. Зернистость грунта не различима

Дополнительное наименование присваивают согласно консистенции грунта в его природном состоянии ([таблица 3.3](#)).

Таблица 3.3 Полевые признаки определения консистенции [6]

Консистенция грунта	Свойство
Текучая	Не сохраняет форму, течет по плоскости
Текучепластичная	Очень влажный, легко разминается, меняет форму при легком нажатии пальцем, продавливается сквозь пальцы при сжатии
Мягкопластичная	Влажный, палец вдавливаются при умеренном нажиме на несколько сантиметров
Тугопластичная	С трудом разминается руками, палец легко оставляет неглубокий отпечаток, но вдавливается с трудом
Полутвердая	При разминании крошится. Ноготь вдавливается без особых усилий
Твердая	Ноготь вдавливается с трудом, при растирании превращается в пыль
	Нельзя сделать вмятину ногтем большого пальца

Отбор инженерно-геологических проб из скважин

Отбор образцов грунтов из инженерно-геологических выработок и естественных обнажений, а также их упаковку, доставку в лабораторию и хранение следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» [8]. Образцы грунта отбираются из зачищенных забоя и стенок горных выработок.

Для лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов отбирают пробы с нарушенной или ненарушенной структурой (монолиты).

Отбор образцов нарушенной структуры

Для отбора образцов грунта нарушенной структуры отбирают с помощью лопаты, ножа, зубила и т.д. из зачищенных дна, стенки шурфа (обнажения) или керна скважины.

Масса образцов нарушенного сложения для определения стандартного набора физических характеристик должна составлять:

- 1,5-2,0 кг – для глинистых грунтов;
- 2,0-3,0 кг для песков;
- 3,0-5,0 кг – для крупнообломочных грунтов.

По отдельному заданию могут отбираться крупнообъемные (валовые) пробы массой до 20 кг.

Образцы грунты нарушенного сложения упаковываются в тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц (мешочки из синтетической пленки, плотной ткани и т.п.). Для образцов, требующих сохранения естественной влажности, применяют бьюксы с герметично закрывающейся крышкой. Внутри тары укладывают этикетку, которая изолируется в отдельный полиэтиленовый пакет.

Отбор монолитов грунтов

Монолиты отбирают для определения расчетных характеристик физико-механических свойств связных пород. Для рыхлых песчаных пород монолиты можно заменить пробами с нарушенной структурой, но в этом случае надо определять плотность грунтов в естественном залегании полевыми методами.

Монолиты отбираются режущим кольцом и ручным вырезанием из обнажений грунтов, в шурфах и подземных горных выработках и грунтоносами из буровых скважин.

После извлечения из грунтоноса монолит очищают от шлама и немедленно консервируют для сохранения структуры и естественной влажности грунта. Существуют три способа консервации: парафинированием, обертыванием в полиэтиленовую пленку и упаковкой в жесткую тару. При упаковке монолита следует отметить его верх.

В настоящее время парафинирование монолитов заменяют обматыванием монолита грунта несколькими слоями современных влагонепроницаемых материалов, в частности полиэтиленовой стрейч-пленкой.

Монолиты грунта, отбираемые в жесткую тару (обойму) или специально изготовленные металлические гильзы, упаковывают в той же таре. На верхнюю грань образца между резиной и крышкой кладут этикетку, а вторую этикетку прикрепляют к поверхности жесткой тары.

Монолиты немерзлого грунта, отобранные в тонкостенные гильзы, должны быть упакованы жесткими крышками с резиновыми прокладками. При отсутствии резиновых прокладок соединение тары с крышкой изолируют или парафинируют.

Внутренний диаметр грунтоносов или жестких обойм должны обеспечивать проведение лабораторных испытаний грунтов, превышать диаметр лабораторных колец.

На этикетки образца грунта необходимо указать [8]:

- наименование организации, проводящей изыскания;
- наименование объекта (участка);
- наименование выработки и ее номер;
- номер образца;
- глубину отбора;
- краткое описание грунта (разновидность);
- должность и фамилия лица, производящего отбор;
- дату отбора образца.

Грунтоносы для отбора монолитов

Для отбора монолитов грунта из скважин используются грунтоносы вдавливаемого, забивного и обуривающего типов.

В настоящее время известно более 150 конструкций грунтоносов различного типа ([рис. 3.3](#)).

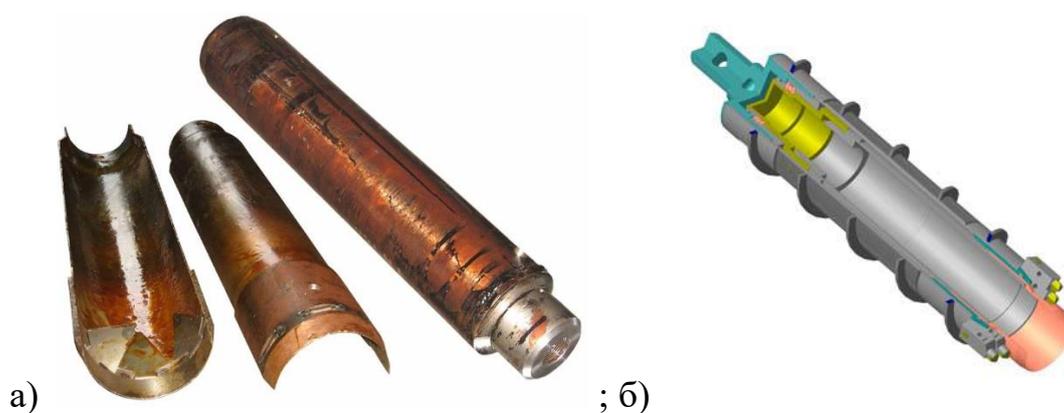


Рис. 3.3 - Грунтоносы: а) заваливаемый; б) обуривающий (ПШН-185).

Принципиальная схема устройства заваливаемых грунтоносов показана на [рис. 3.4](#).

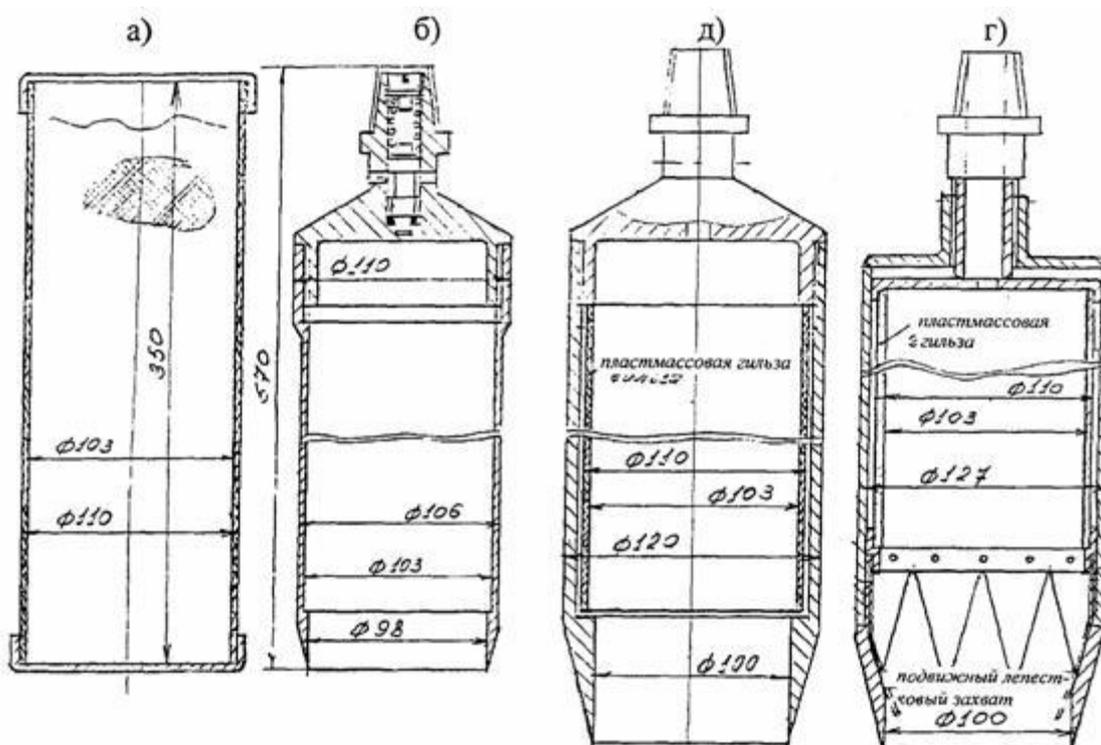


Рис. 3.4 - Принципиальная схема устройства задавливаемых грунтоносов.

В процессе бурения демонстрационной скважины студенты отбирают и документируют две пробы нарушенной структуры и два монолита. Один монолит отбирается в металлическую гильзу, другой отбирается челюстным задавливаемым грунтоносом и упаковывается с помощью стрейч-пленки. Задача студентов составить этикетки на отбираемые пробы грунта, упаковать пробы, отразить отбор проб в буровом журнале, составить ведомость отбора проб грунта ([Приложение 2](#)).

Отобранные пробы грунта могут быть использованы студентами при проведении практических занятий по механике грунтов.

4. Статическое зондирование грунтов

Статическое зондирование относится к полевым опытным испытаниям грунтов. Методы полевых испытаний грунтов для определения физико-механических характеристик грунтов устанавливают нормативными документами [9, 38, 39]. Общие требования к области применения, подготовке испытаний и к оборудованию приведены в ГОСТ 30672-2019 [9].

Статическое зондирование грунтов проводят в соответствии с ГОСТ ГОСТ 19912 2012 [10]. Зондирование грунтов проводят вдавливанием в грунт зонда при статическом зондировании с одновременным измерением непрерывно или через заданные интервалы по глубине показателей, характеризующих сопротивление грунта внедрению зонда.

Количественную оценку характеристик физико-механических свойств грунтов проводят на основе включенных в действующие нормативные документы статистически обоснованных зависимостей между показателями сопротивления грунта внедрению зонда и результатами определения характеристик грунта другими стандартными методами.

В процессе проведения испытаний статическим зондированием ведется журнал испытаний, результаты испытаний - оформляются в виде таблиц и графиков изменения параметров сопротивления грунта внедрению зонда в зависимости от глубины зондирования. Графики испытаний должны, как правило, сопровождаться инженерно-геологическим разрезом по ближайшей к точке зондирования горной выработке (Приложение 4).

Испытание грунта методом статического зондирования проводят с помощью специальной установки, обеспечивающей вдавливание зонда в грунт – мобильная установка или с помощью гидравлической мачты самоходной буровой установки (рис. 4.1).

При статическом зондировании поданным измерения сопротивления грунта под наконечником и на боковой поверхности зонда определяют:

- удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда q_c ;

- удельное сопротивление грунта на муфте трения зонда f_s .

В состав установки для испытания грунта статическим зондированием должны входить:

- зонд (наконечник и штанги);
- устройство для вдавливания и извлечения зонда;
- опорно-анкерное устройство для мобильно установки;
- измерительная система.



Рис. 4.1 Статическое зондирование с помощью гидравлической мачты самоходной буровой установки ПБУ-2 300.

В зависимости от принципа измерения сопротивлений грунта зонды могут быть следующих типов:

- механический (тип I) - зонд с наконечником из конуса и кожуха;

- электрический (тип II) - зонд с наконечником из конуса и муфты трения.

Схемы конструкций зондов приведены на [рис. 4.2](#).

Для электрического зонда допускается применение уширителя диаметром, превышающим диаметр зонда на 10 - 20 мм, и расположенного не ближе 300 мм от муфты трения.

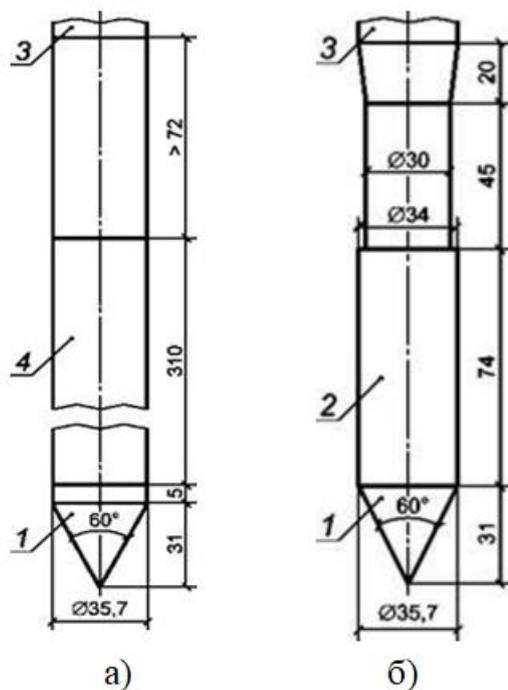


Рис.4.2. Схема конструкции зондов: а) - I типа; б) - II типа. 1 - конус; 2 – кожух, 3 - штанга; 4 - муфта трения

На полевой практике статическое зондирование проводится с помощью установки «ПИКА-19», которая по принципу измерения сопротивлений грунта относится ко II типу [1].

Состав и внешний вид установки «ПИКА-19» представлены на [рис. 4.3](#).

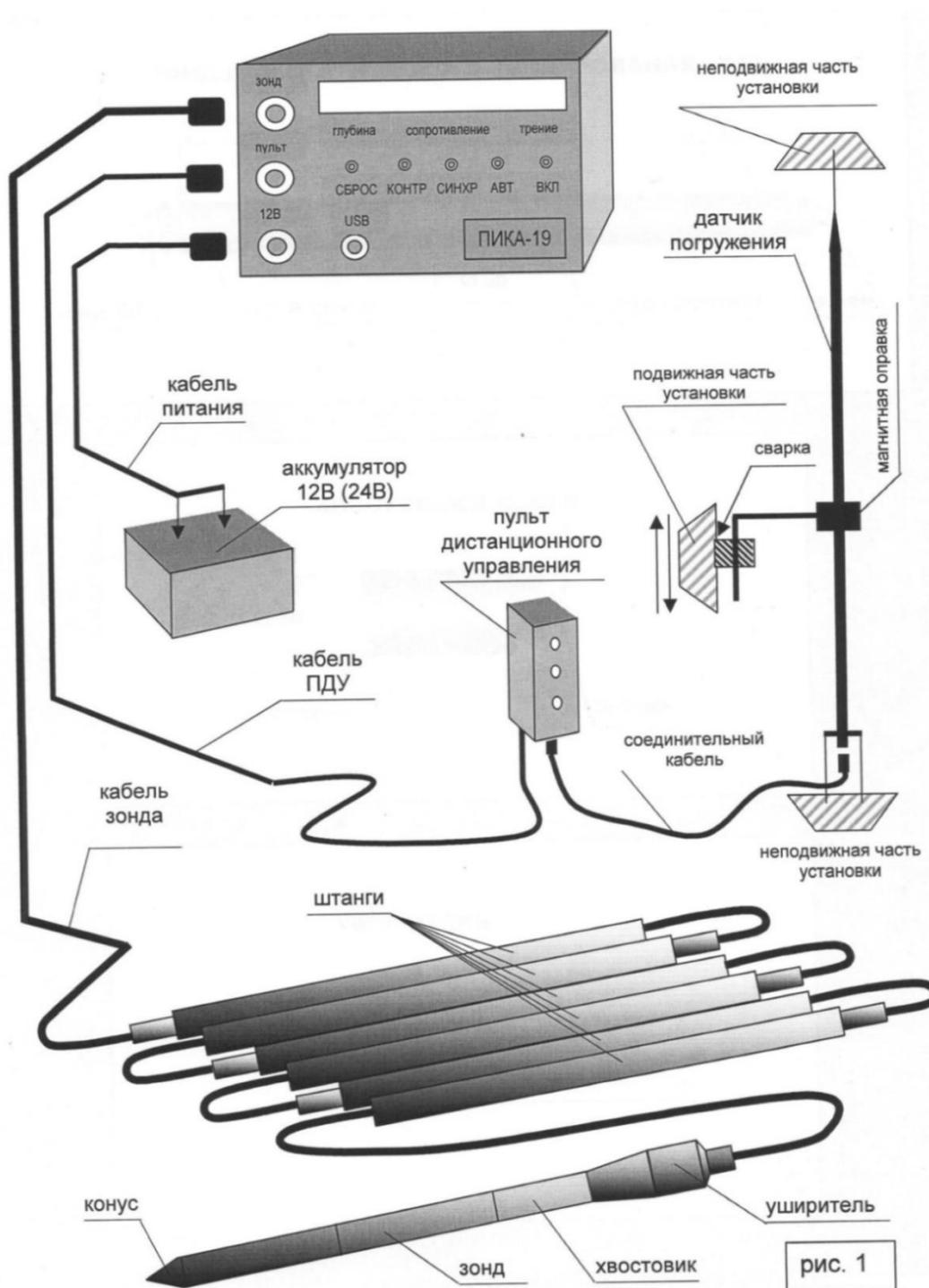


Рис. 4.3. Состав и внешний вид набора аппаратуры «ПИКА-19» [1]

Подготовка к испытанию

Подготовку к работе установки для испытания грунта статическим зондированием проводят в соответствии с требованиями инструкции по ее эксплуатации. В первую очередь горизонтально выравнивается площадка,

если необходимо, забуриваются анкера, производится закрепление установки. При необходимости проверяют прямолинейность штанг и степень износа. Отклонение мачты установки от вертикали не должно превышать 2° .

Проведение испытания

Статическое зондирование следует выполнять путем непрерывного вдавливания зонда в грунт, соблюдая порядок операций, предусмотренный инструкцией по эксплуатации установки. При непрерывном зондировании перерывы в погружении зонда допускаются только для наращивания штанг зонда. В процессе зондирования необходимо осуществлять постоянный контроль за вертикальностью погружения зонда.

Показатели сопротивления грунта следует регистрировать непрерывно или с интервалами по глубине погружения зонда не более 0,2 м для механического зонда и не более 0,1 м – для электрического зонда.

Скорость погружения зонда в грунт должна быть $(1,2 \pm 0,3)$ м/мин.

В прочных грунтах (в том числе мерзлых) для предотвращения повреждения зонд допускается погружать со скоростью 0,5 м/мин. Интерпретацию результатов испытаний при скорости 0,5 м/мин допускается проводить на основе включенных в действующие нормативные документы статистически обоснованных зависимостей между показателями сопротивления грунта внедрению зонда и результатами определения характеристик грунта другими стандартными методами. Сопротивления грунта внедрению зонда, соответствующие скорости 1,2 м/мин, должны определяться путем введения поправочных коэффициентов. При изысканиях под здания и сооружения пониженного уровня ответственности поправочные коэффициенты допускается не применять.

Испытание заканчивают после достижения: заданной глубины погружения зонда; предельных усилий, отклонения наконечника зонда от вертикали на 15° или изменения его отклонения на 5° на 1 м; опасности повре-

ждения зонда. По окончании испытания зонд извлекают из грунта, а скважину тампонируют.

При невозможности достижения заданной глубины вдавливание зонда в грунт допускается проводить с забоя предварительно пройденной скважины. При необходимости скважина обсаживается трубой внутренним диаметром, превышающим диаметр зонда на 5 – 10 мм.

Регистрацию показателей сопротивления грунта внедрению зонда проводят в электронном запоминающем устройстве. При использовании электрических зондов регистрация показателей и параметров на электронном запоминающем устройстве является обязательной.

Обработка результатов

По данным измерений, полученным в процессе испытания, определяют значения q_c, f_s (для электрического зонда, составляют таблицы и строят графики изменения этих величин по глубине зондирования (Приложение 4).

В соответствии с СП 22.13330 [38] для зданий и сооружений нормального при нагрузках на фундаменты менее 0,25 МПа и пониженного уровня ответственности прочностные и деформационные свойства допускается определять методом статического зондирования по приложению Ж СП 446.1325800.2019 [41] (таблицы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

При определении физико-механических характеристик грунтов в качестве показателей статического зондирования следует принимать удельное сопротивление грунта под конусом зонда q_c и удельное сопротивление грунта по муфте трения зонда f_s .

При определении физико-механических характеристик грунтов не могут быть использованы показатели зондирования, полученные на глубинах менее 1 м, а также с использованием малогабаритных установок.

Определяемые по указанным таблицам характеристики относятся к кварцевым и кварц-полевошпатовым песчаным грунтам с величиной удель-

ного сцепления менее 0,01 МПа и к глинистым грунтам с содержанием органических веществ менее 10 %.

Таблица 4.1 Определение плотности сложения песков по данным статического зондирования [41, Табл. Ж.1]

Пески	Плотность сложения при q_c , МПа		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	Более 15	От 5 до 15	Менее 5
Мелкие, независимо от влажности	Более 12	От 4 до 12	Менее 4
Пылеватые: малой и средней степени водонасыщения насыщенные водой	Более 10	От 3 до 10	Менее 3
	Более 7	От 2 до 7	Менее 2

Таблица 4.2 Определение нормативного модуля деформации песчаных грунтов E по данным статического зондирования [41, Табл. Ж.2]

Пески	Нормативный модуль деформации песчаных грунтов E при q_c , МПа									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Все генетические типы, кроме аллювиальных и флювиогляциальных	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Аллювиальные и флювиогляциальные	17	20	22	25	28	30	33	36	38	41

Таблица 4.3 Определение нормативного угла внутреннего трения песчаных грунтов φ по данным статического зондирования [41, Табл. Ж.3]

q_c , МПа	Нормативный угол внутреннего трения песчаных грунтов φ , град., при глубине зондирования, м	
	2	5 и более
1,5	28	26
3	30	28
5	32	30
8	34	32
12	36	34
18	38	36
26	40	38

Примечание - Значения угла внутреннего трения φ в интервале глубин от 2 до 5 м определяется интерполяцией.

Таблица 4.4 Определение нормативных значений модуля деформации E , угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C глин, суглинков и супесей (кроме грунтов ледникового комплекса) по данным статического зондирования [41, Таблица Ж.4]

q_c МПа	Нормативные значения модуля деформации E , угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C суглинков, глин и супесей (кроме грунтов ледникового комплекса)							
	E , МПа (для глин и суглинков)	Глины		Суглинки		Супеси		
		φ , град	C , МПа	φ , град	C , МПа	E , МПа	φ , град	C , МПа
0,5	3,5	14	0,25	16	0,14	-	-	-
1	7	17	0,30	19	0,17	7	19	0,10
2	14	18	0,35	21	0,23	12	22	0,12
3	21	20	0,40	23	0,29	16	25	0,15
4	28	22	0,45	25	0,35	20	27	0,17
5	35	24	0,50	26	0,41	25	29	0,20
6	42	25	0,55	27	0,47	30	30	0,22
7	-	-	-	-	-	35	31	0,24

На полевой практике статическое зондирование проводится с помощью навесной установки «ПИКА-19» и гидравлической мачты буровой установки ПБУ-2 300. Статическое зондирование проводится рядом с буровой скважиной.

Результаты статического зондирования передаются студентам в виде файла в формате табличного процессора Excel, где зафиксирована глубина зондирования с шагом 0,1 м и соответствующие ей значения сопротивление грунта под конусом зонда q_c и удельное сопротивление грунта по муфте трения зонда f_s .

Задача студентов оформить результаты статического зондирования в таблице Excel в соответствии с [Приложением 4](#). По графику статического зондирования выделить разновидности грунта (слои) и для каждого слоя по средним значениям сопротивление грунта под конусом зонда q_c определить плотность сложение песчаных грунтов ([таблица 4.1](#)), значения механических характеристик грунтов ([таблицы 4.2, 4.3, 4.4](#)).

5. Срез целиков грунта

Согласно своду правил, регламентирующих проведение инженерно-геологических изысканий [41], срез целиков грунта методом поступательного (одноплоскостного) среза используют для определения характеристик грунтов при расчете устойчивости склонов или прочностных свойств массива, сложенных крупнообломочными или неоднородными грунтами.

Испытания целиков грунта на срез проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 20276.4-2020 «Грунты. Метод среза целиков грунта» [12].

Полевые испытания проводят непосредственно на поверхности грунта, в массиве грунта или опытных горных выработках (котлованах, шурфах, дудках или буровых скважинах). Площадка, выбранная для проведения испытаний грунтов или проходки горной выработки, должна быть при необходимости спланирована и оконтурена водоотводной канавой. Размеры площадки устанавливают из условий размещения выработки и установки для испытаний грунта. Способы проходки выработок для испытаний должны обеспечивать сохранение ненарушенного природного сложения и плотности грунта и его природной влажности. В процессе проходки выработок следует вести документацию литологического строения.

Результаты полевых испытаний грунта заносят в журналы испытаний, содержащие данные о месте проведения испытаний, схему расположения точек испытаний или опытных горных выработок, описание и другие необходимые характеристики грунта, данные об используемых установках, приборах, оборудовании и методиках (стандартах) выполнения испытаний. Образцы грунта для определения этих характеристик отбирают непосредственно в опытных горных выработках на отметке испытания грунта и на расстоянии не более 3 м от оси выработки.

Сопротивление грунта срезу определяют как предельное среднее касательное напряжение, при котором целик грунта срезается по фиксирован-

ной плоскости при заданном нормальном давлении. Для определения значений ϕ и c необходимо провести не менее трех испытаний целиков грунта при различных значениях нормального давления при испытании однородного грунта в одной выработке и на одной глубине.

Испытания можно проводить для следующих состояний грунта:

- природного сложения и природной влажности;
- насыпных и намывных грунтов независимо от влажности;
- крупнообломочных грунтов нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Испытания проводят по следующим схемам:

- консолидированно-дренированный (медленный) срез - для определения характеристик прочности крупнообломочных грунтов, песков и глинистых грунтов с показателем текучести $I_L < 1$ (независимо от коэффициента водонасыщения) в стабилизированном состоянии;
- неконсолидированный (быстрый) срез - для определения характеристик прочности водонасыщенных глинистых грунтов (при $S_r > 0,85$) с показателем текучести $I_L - 0,5$ в нестабилизированном состоянии.

Оборудование и приборы

В состав установки для испытания целика грунта методом среза должны входить:

- кольцо с внутренним диаметром $D = 200$ мм и высотой кольца $H = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}\right) \cdot D$, мм (размер включений не должен превышать $1/5$ диаметра образца);
- жесткие штампы размерами, соответствующими внутреннему диаметру кольца;
- механизм для вертикального нагружения целика грунта;
- механизм для создания срезающей нагрузки с анкерным устройством;

- устройства для измерения деформаций целика грунта и прикладываемой нагрузки.

Принципиальная схема проведения срезových испытаний приведена на [рис. 5.1](#).

Конструкция установки должна обеспечивать:

- приложение касательной нагрузки в фиксированной плоскости среза или не более чем на 30 мм выше этой плоскости;

- передачу нормальной и касательной нагрузок ступенями или в виде непрерывно возрастающей нагрузки с постоянной скоростью;

- градуировку измерительных приборов и установление поправок на преодоление трения при перемещении кольца (целика) относительно неподвижной части установки.

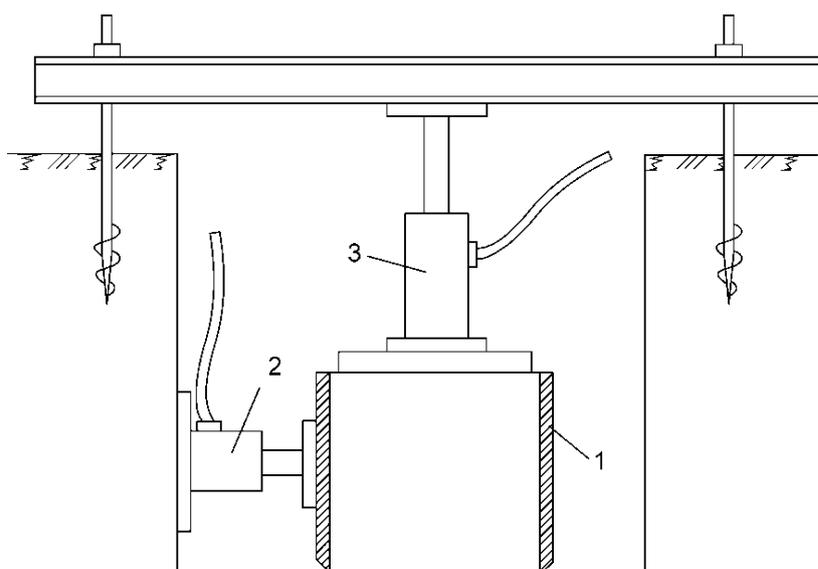


Рис. 5.1. Принципиальная схема испытания блока грунта на срез: 1 – стальной цилиндр; 2 – домкрат горизонтальной нагрузки; 3 – домкрат вертикальной нагрузки

Для создания нормальных и касательных нагрузок применяют домкраты или тарированные грузы.

Подготовка к испытанию

На отметке испытания в выработке вырезают целик грунта с помощью кольца в следующем порядке:

- кольцо смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки;

- кольцо устанавливают на выровненную и зачищенную горизонтальную поверхность грунта в заранее намеченное положение и постепенно, не допуская перекосов, вдавливают кольцо вручную или с помощью домкрата, обрезая грунт вокруг кольца;

- поверхность грунта в кольце выравнивают и на выровненную поверхность укладывают слой маловлажного песка (мелкого или средней крупности) толщиной 1-2 см для глинистых грунтов и 3 см - для крупнообломочных грунтов.

В нижней части целика между краем кольца и поверхностью грунта в основании выработки оставляют зазор размером 1-2 см, но не менее $1/2$ максимального размера включений, по которому должна пройти плоскость среза при испытании. Этот зазор должен быть восстановлен в случае его нарушения при подготовке к срезу грунта.

Внутри кольца устанавливают штамп и монтируют устройство для передачи нормальной и касательной нагрузок и реперную систему с индикаторами для измерения деформаций сжатия и среза целика грунта ([рис. 5.2](#)).

Деформации целика грунта следует определять как среднеарифметическое показаний двух приборов, фиксирующих:

- смещение противоположных сторон кольца в направлении приложения касательной нагрузки в плоскости среза;

- осадку противоположных сторон штампа от нормальной нагрузки.



Рис. 5.2 - Проведение среза целика грунта в шурфе

После монтажа установки и измерительной системы записывают начальные показания приборов (или устанавливают приборы на нулевые деления).

На полевой практике студенты проводят испытания по схеме неконсолидированного среза.

Проведение испытания по схеме неконсолидированного среза

На целик грунта передают сразу в одну ступень нормальное давление p , при котором будут проводить срез целика грунта. Значения p указаны в [таблице 5.1](#).

Таблица 5.1 Значения нормальных давлений при срезе [12]

Грунты	Нормальное давление p , МПа
Глинистые и органо-минеральные грунты с показателем текучести: $I_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Если при этих значениях будет происходить выдавливание грунта в зазор между кольцом и поверхностью выработки, то испытание необходимо повторить на других целиках при меньших значениях давлений.

Сразу после передачи нормальной нагрузки проводят срез целика грунта не более чем за 5 мин с момента приложения нормальной нагрузки.

При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10 % значения нормальной нагрузки, при которой проводят срез, и приложение ступеней должно следовать через каждые 15-30 с.

При передаче непрерывно возрастающей касательной нагрузки скорость среза принимают в интервале 5-20 мм/мин так, чтобы срез произошел в течение указанного времени.

Момент окончания испытания устанавливают, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части грунта по отношению к другой или общая деформация среза превысит 10 %. По окончании испытания следует зафиксировать максимальную касательную нагрузку в процессе испытания. После окончания испытания целики грунта следует разгрузить и отобрать из зоны среза две пробы грунта для определения влажности.

В процессе полевых испытаний ведут журнал по форме, представленной в Приложении 5 .

Обработка результатов

По измеренным в процессе испытаний значениям нормальной и касательной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения τ и σ , МПа, по формулам:

$$\tau = 10 \frac{Q}{A}, \quad (5.1)$$

$$\sigma = 10 \frac{P}{A}, \quad (5.2)$$

где Q и P - касательная и нормальная нагрузки к плоскости среза соответственно, кН; A - площадь среза, см².

За касательную нагрузку принимают максимальную касательную нагрузку (P_{\max}) при заданной нормальной нагрузке (Q).

За сопротивление грунта принимают максимальное значение τ , полученное по графику $\tau = f(\Delta l)$ при значениях деформации Δl , не превышающих 50 мм.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определяют по графику $\tau = f(p)$ ([рис. 5.3](#)), построенному по результатам не менее чем трех испытаний цилиндров грунта.

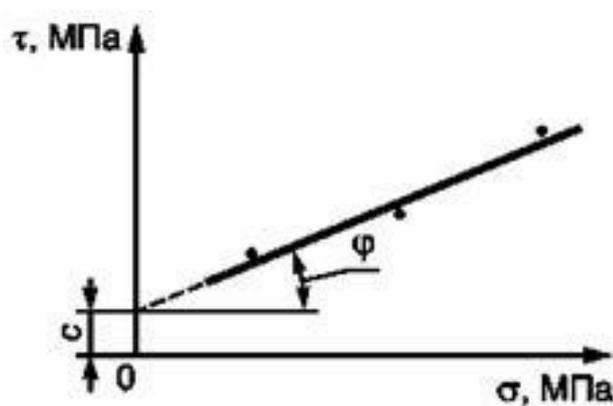


Рис. 5.3. График $\tau = f(p)$, где τ - касательное напряжение; φ - угол внутреннего трения; c - удельное сцепление; σ - нормальное напряжение

Значение c определяют как отрезок, отсекаемый осредняющей прямой графика, проведенной методом наименьших квадратов или графическим методом, на оси ординат, а $\text{tg}\varphi$ - как угол наклона этой прямой к оси абсцисс.

Обработка результатов испытаний проводится в табличном процессоре Excel, пример приводится в [Приложении 5](#).

6. Испытания грунтов штампами

Согласно действующих регламентов [38,41], основными методами получения деформационных показателей в массиве грунта являются испытания штампом, прессиометрия, а также, в сочетании с ними, статическое зондирование.

Для зданий и сооружений повышенного и нормального уровней ответственности, проектируемых на естественном основании, испытания грунтов статическими нагрузками следует осуществлять штампами площадью 600, 2500 и 5000 см² на проектируемой глубине (отметке) заложения фундаментов, а в пределах сжимаемой толщи взаимодействия зданий и сооружений с основанием – штампами площадью 600 см² (плоскими или винтовыми) в скважинах. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 20276.1-2020 «Грунты. Метод испытания штампом» [11].

Вспытания штампом применяется для дисперсных грунтов (пески, супеси, суглинки, глины).

Испытания грунта проводят в горных выработках (расчистках, котлованах, шурфах, штреках, буровых скважинах и т.д.) или в массиве грунта. Схемы испытаний грунта для определения характеристик деформируемости приведены на [рис. 6.1](#).

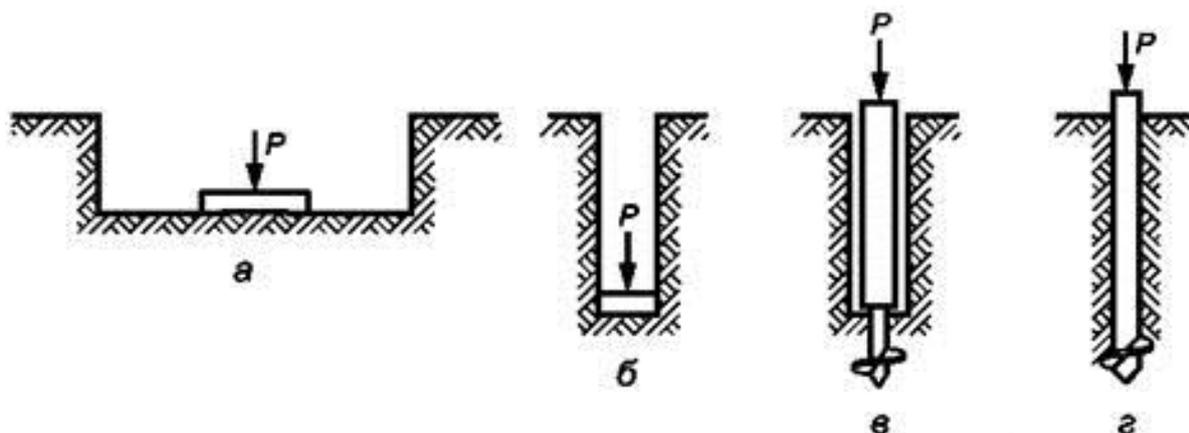


Рис. 6.1. Схемы испытаний грунта для определения характеристик деформируемости методом испытания штампом.

Минимальная толщина однородного слоя испытуемого грунта должна быть не менее двух диаметров штампа при испытании грунта штампом.

Испытание грунта штампом проводят для определения следующих характеристик деформируемости дисперсных грунтов:

- модуля деформации E минеральных, органо-минеральных и органических грунтов;

- начального просадочного давления p_{sl} и относительной деформации просадочности ϵ_{sl} для просадочных глинистых грунтов при испытании с замачиванием.

Характеристики определяют по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в забое горной выработки с помощью штампа.

На полевой практике штамповые испытания грунтов проводят в опытной буровой скважине диаметром 325 мм. На забое скважины находятся пески мелкие, маловлажные.

В состав установки для испытания грунта штампом входят:

- штамп;
- устройство для создания и измерения нагрузки на штамп;
- анкерное устройство (для установок без грузовой платформы);
- устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений);

Конструкция установки должна обеспечивать:

- возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01 - 0,1 МПа;
- центрированную передачу нагрузки на штамп;
- постоянство давления на каждой ступени нагружения.

Для проведения штамповых испытаний используется винтовой штамп площадью 600 см² (рис.6.2), штамп IV типа 10].



Рис. 6.2. Винтовой штамп IV типа площадью 600 см².

Подвиды или разновидности грунта, которые испытываются с помощью винтового штампа IV типа указаны в [таблице 6.1](#).

Таблица 6.1 Тип и площадь штампа в зависимости от разновидности грунта [11]

Грунты	Положение штампа относительно уровня подземных вод	Глубина испытания, м	Место проведения испытания	Штамп	
				Тип	Площадь, см ²
Пески; глинистые грунты при любых значениях I_L ; органо-минеральные и органические	На уровне подземных вод и выше	По всей толще	Ниже забоя скважины (без обсадки)	IV	600
	Ниже уровня подземных вод	По всей толще	Ниже забоя скважины (с обсадкой)	IV	600
Глинистые с $I_L > 0,5$; органо-минеральные и органические	Выше и ниже уровня подземных вод	До 10	В массиве без бурения скважины	IV	600

Подготовка к испытанию

Погружение винтового штампа проводят завинчиванием механически или вручную ниже забоя скважины или с поверхности в массив грунта без

бурения скважины. При испытаниях в скважинах глубина завинчивания винтового штампа ниже забоя скважины должна быть 50 см для глинистых грунтов с $I_L > 0,75$ и водонасыщенных песков и 30 см - для остальных грунтов.

В процессе завинчивания винтового штампа необходимо обеспечить синхронность его вращения с погружением. Глубина погружения за один оборот должна соответствовать шагу винтовой лопасти.

После установки штампа монтируют устройство для нагружения штампа, анкерное устройство и измерительную систему.

После монтажа всех устройств и измерительной системы записывают начальные показания приборов.

Проведение испытания

Нагрузку на штамп следует увеличивать ступенями давлений Δp , указанными в таблицах [6.2](#), [6.3](#). Общее число ступеней давления после достижения давления, соответствующего вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта σ_{zg} на отметке испытания, должно быть не менее четырех.

Таблица 6.2 Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамп-повых испытаниях для крупнообломочных и песчаных грунтов [11]

Грунты	Коэффициент водонасыщения	Ступени давления Δp , МПа, при плотности сложения грунтов			Время условной стабилизации деформации t , ч
		Плотные	Средней плотности	Рыхлые	
Крупнообломочные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,1	0,1	0,5
Пески гравелистые и крупные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,05	0,025	0,5
Пески средней крупности	$S_r \leq 0,5$	0,1	0,05	0,025	0,5
	$0,5 < S_r < 1,0$	0,1	0,05	0,025	1,0
Пески мелкие и пылеватые	$S_r \leq 0,5$	0,05	0,025	0,01	1,0
	$0,5 < S_r \leq 1,0$	0,05	0,025	0,01	2,0

В первую ступень давления следует включить вес деталей установки, влияющих на нагрузку штампа. Время выдержки каждой последующей ступени давления должно быть не менее времени выдержки предыдущей.

Таблица 6.3 Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамповых испытаниях для глинистых грунтов [11]

Грунты	Ступени давления Δp , МПа, при коэффициенте пористости				Время условной стабилизации деформации t , ч
	$e \leq 0,5$	$0,5 < e \leq 0,8$	$0,8 < e \leq 1,1$	$e > 1,1^*$	
Глинистые с показ. текучести:					
$I_L \leq 0,25$	0,1	0,1	0,05	0,05	1
$0,25 < I_L \leq 0,75$	0,1	0,05	0,05	0,025	2
$0,75 < I_L \leq 1$	0,05	0,025	0,025	0,01	2
$I_L > 1$	0,05	0,025	0,01	0,01	3
* При коэффициенте пористости $e > 1,1$ время условной стабилизации увеличивается на 1 ч.					

Каждую ступень давления выдерживают до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа). За критерий условной стабилизации деформации принимают скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за время указанное в таблицах 6.2, 6.3.

Отсчеты по индикаторам на каждой ступени нагружения проводят:

- при испытании крупнообломочных грунтов и песков через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин в течение второго получаса и далее через 30 мин до условной стабилизации деформации грунта;

- при испытании глинистых грунтов через каждые 15 мин в течение первого часа, 30 мин в течение второго часа, далее через 1 ч до условной стабилизации деформации грунта.

По данным испытаний строят график зависимости осадки штампа от давления $S = f(p)$ (рис. 6.3).

Модуль деформации вычисляют в диапазоне давлений от p_0 до p_n .

За начальное значение p_0 и S_0 принимают давление, равное вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта σ_{zg} на отметке испытания, и соответствующую осадку; за конечные значения p_n и S_n - значения p_i и S_i , соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

Если при давлении p_i приращение осадки будет вдвое больше, чем для предыдущей ступени давления p_{i-1} , а при последующей ступени давления p_{i+1} приращение осадки будет равно или больше приращения осадки при p_i , за конечные значения p_n и S_n следует принимать p_{i-1} и S_{i-1} . При этом число точек в рассматриваемом диапазоне должно быть не менее трех. В противном случае при испытании грунта необходимо применять меньшие ступени давления.

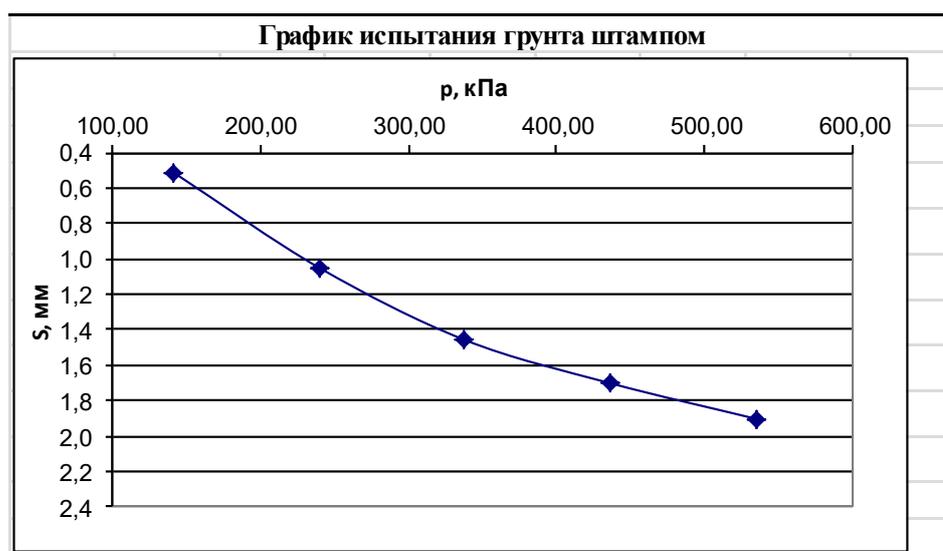


Рис. 6.3. График зависимости осадки штампа от давления $S = f(p)$.

Модуль деформации грунта E , МПа, вычисляют по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (6.1)$$

где ν - коэффициент поперечного расширения (Пуассона), принимаемый равным 0,27 для крупнообломочных грунтов; 0,30 - для песков и супесей; 0,35 - для суглинков; 0,42 - для глин;

K_p - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа h/D (h - глубина расположения штампа относительно дневной поверхности грунта, см; D - диаметр штампа, см);

K_1 - коэффициент, принимаемый для жесткого круглого штампа равным 0,79;

Δp - приращение давления на штамп, МПа, равное $p_n - p_0$;

ΔS - приращение осадки штампа, соответствующее Δp , см.

При испытаниях грунтов винтовым штампом в буровых скважинах ниже забоя и в массиве без бурения скважин коэффициент K_p принимают в зависимости от отношения h/D по [таблице 6.4](#).

Таблица 6.4 Значение коэффициента K_p в зависимости от отношения глубины испытания и диаметра штампа [11]

h/D	0	1	2	3	4	5
K_p	1	0,90	0,82	0,77	0,73	0,70

На полевой практике испытания проводят с помощью штамповой установки ВШ-60 производства НПП «Геотек».

Оборудование устанавливается согласно [рис. 6.4](#).

Перед началом нагружения штампа записывают в полевой журнал «нулевые показания» индикаторов ИЧ-50: №1, №2 и №3.

При помощи редуктора увеличивают давление в пневмоцилиндре до величины первой ступени нагрузки, которая в зависимости от вида и состояния грунта назначается в соответствии с таблицами 6.2, 6.3.

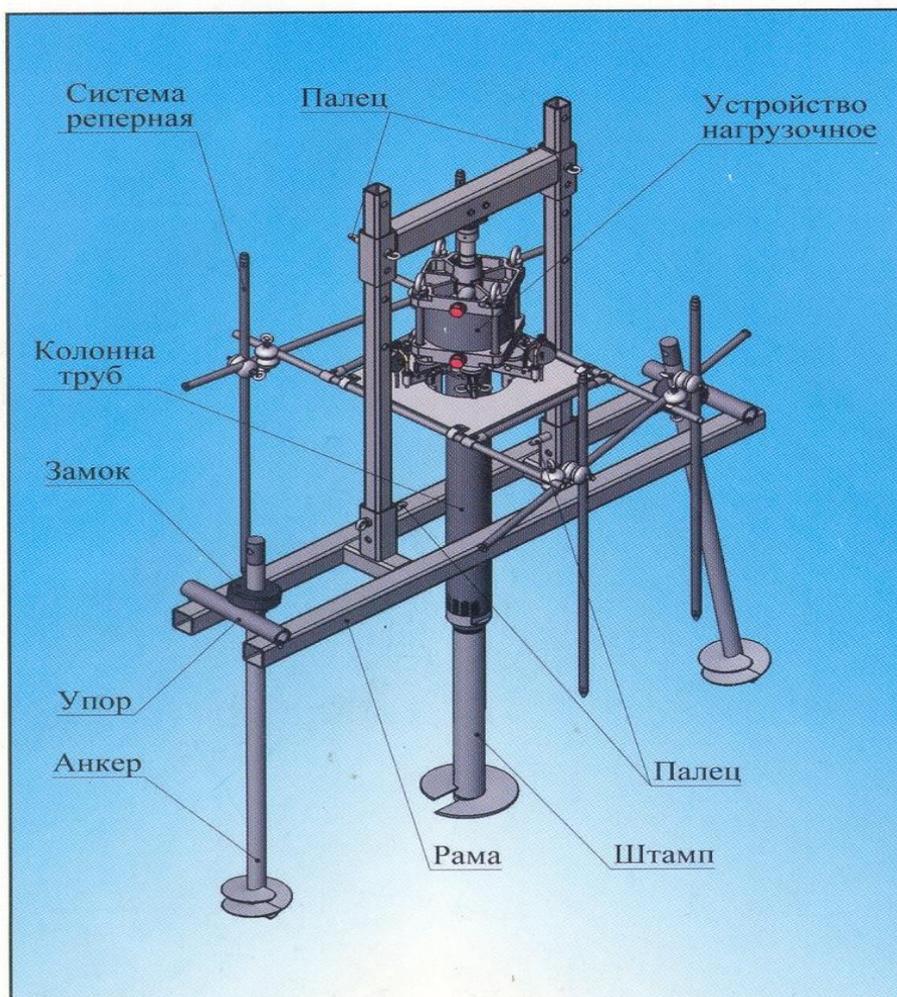


Рис. 6.4 Принципиальная схема устройства штамповой установки ВШ60.

Величина давления под штампом $P_{шт}$, $кПа$ определяется исходя из показаний манометра $P_{ми}$, $кПа$ и собственного веса оборудования по формуле:

$$P_{шт} = P_{ми} * 0.818 + P_{шт,об}, \quad (6.2)$$

где:

- $P_{ми}$ - показания манометра, $кПа$;
- 0.818 - коэффициент нагрузочной системы;
- $P_{шт,об}$ - давление под штампом от веса оборудования, $кПа$.

Собственный вес оборудования S , $кН$ должен быть рассчитан для

каждого опыта по формуле:

$$C = Q + L * ml, \quad (6.3)$$

где:

- $Q = 0.8 \text{ кН}$, суммарный вес Штампа и Устройства нагрузочного;
- $L, \text{ м}$ - общая длина труб диаметром 127, составляющих ствол штампа;
- ml , - вес 1 м трубы - 0,147 кН;

Давление под штампом от веса оборудования $P_{шт.об}$, кПа , рассчитывается по формуле:

$$P_{шт.об} = C / 0,06 \quad (6.4)$$

Давление в пневмоцилиндре контролируется по манометру. При выдержке на ступени заданная величина давления поддерживается автоматически посредством регулятора.

Вмешательство оператора может потребоваться при изменении давления более, чем на 5% от величины ступени.

Показания индикаторов перемещений №1_i, №2_i и №3_i записывают в полевой журнал:

- для песчаных грунтов: в течение первого получаса, через 10 мин., второго получаса, через 15 минут, далее через 30 минут до условной стабилизации деформаций грунта;
- для глинистых грунтов, через 15 минут в течение 1-го часа, через 30 минут в течение 2-го часа и далее через час до условной стабилизации деформаций грунта.

Время условной стабилизации деформаций в зависимости от вида и состояния грунта принимают в соответствии с табл. 6.2, 6.3.

После выполнения критерия условной стабилизации, при помощи редуктора, задаётся следующая ступень давления, и все операции повторяются.

За критерий условной стабилизации принимают скорость осадки штампа не более 0,1 мм за время условной стабилизации.

Число ступеней давления после достижения вертикального нормального давления от собственного веса грунта на отметке испытания $\sigma_{zq,0}$ должно быть не менее четырёх.

Вертикальное нормальное давление от собственного веса грунта на глубине h , при отсутствии грунтовых вод на отметке испытания, определяется по формуле:

$$\sigma_{zq,0}, \text{ кПа} = \rho * h * 9,8, \quad (6.5)$$

где

- ρ - средняя плотность грунта выше отметки испытания, т/м^3 ,
- h - глубина испытания. м.

При наличии грунтовых вод выше отметки испытания, $\sigma_{zq,0}$ определяется с учётом взвешивающего действия воды:

$$\sigma_{zq,0} = (h(\rho-1) + h_1) * 9,8, \quad (6.6)$$

где

- $h_1, \text{ м}$ - уровень грунтовых вод от поверхности грунта.

При достижении заданного давления на штамп (при количестве ступеней нагрузки более 4-х) можно завершить опыт или выполнить испытание в режиме разгрузки. При испытаниях в режиме разгрузки, давление в пневмоцилиндре уменьшают при помощи редуктора двойными ступенями с записью отсчётов в полевой журнал.

Обработка результатов испытаний

По данным испытаний строят график зависимости осадки от давления $S=f(p)$.

Модуль деформации грунта E , кг/см^2 , вычисляют по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \Delta_p / \Delta_s, \quad (6.7)$$

где

- ν - коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,30 - пески и супеси; 0,35 - суглинки; 0,42 - глины;
- Kp - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа h/D (таблица 7.5);
- $K_I = 0,79$;
- Δp - приращение давления на штамп, равное $\Delta p = p(n) - p(o)$;
- Δs - приращение осадки штампа, соответствующее Δp , равное $\Delta s = S(n) - S(o)$.

За начальное значение p_o и S_o принимают давление, равное вертикальному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания $\sigma_{zq,0}$.

При заполнении поля «Поправка к показаниям прогибомеров, мм» таблицы «Журнал испытания грунта штампом» (Приложение 3) следует рассчитать поправки на упругое сжатие ствола под действующей нагрузкой.

Расчёт поправки c , мм можно выполнить по формуле:

$$c = P_{шт} * 0,06 * L * Hr / 10000, \text{ мм}, \quad (6.8)$$

где

- Hr - коэффициент, обратный продольной жесткости трубы. Для труб диаметром 127 значение коэффициента Hr принято - 25;
- 0,06 - площадь штампа, м².

Полученную поправку следует вычитать из средних показаний индикаторов ИЧ-50.

Результаты испытаний на занятиях оформляются в виде паспорта испытаний штампом в табличном процессоре EXCEL ([Приложение 6](#)).

7. Инженерно-геологическое изучение песчаных грунтов зоны аэрации с использованием экспресс методов

Проходка шурфов

Для отбора проб и проведения полевых испытаний грунтов экспресс методами, в районе базы «Веневитиново», проходится шурф размером 0,8x1,0 м, глубиной до одного метра. Место проходки располагается на поверхности 1-ой надпойменной террасы, на восточной границе базы практики.

Шурф - вертикальная (реже наклонная) горная выработка (чаще прямоугольного сечения), проведённая с поверхности земли для поиска и разведки полезных ископаемых, а также для инженерно-геологических и гидрогеологических исследований.

Разведочные шурфы служат для изучения условий залегания и литологического состава пород под основанием запроектированного сооружения, степени их сохранности и устойчивости, для отбора проб (монолитов) пород в состоянии естественной влажности и нарушенной структуры. Опытные шурфы - для проведения в них экспериментов по оценке несущей или фильтрационной способности горных пород.

Планово-высотная привязка выработок на полевой практике осуществляется при помощи мерной ленты относительно характерных точек рельефа и существующих инженерных сооружений. Точки выносятся на топоплан масштаба 1:1000, определяется абсолютная отметка поверхности.

Проходка шурфов начинается со срезки и удаления почвенно-растительного покрова (дерна). Почвенно-растительный слой складывается отдельно по одну из сторон шурфа, нижележащий грунт складывается по другую сторону шурфа. Шурф проходится лопатой длиной 1,0 м, поэтому рекомендуемый поперечный профиль шурфа – 0,8x1,0 м. При таком профиле глубина проходки шурфа без подъемного механизма составляет 2,5 м.

После завершения опробования и опытных работ шурф ликвидируют засыпкой изъятых грунта в обратном порядке и укладкой снятого дерна.

Отбор проб грунта

Инженерно-геологическое опробование - проводят при инженерно-геологических работах с целью определения состава, строения, состояния и свойств грунтов, а также заключённых в них подземных вод и газов.

По методике проведения собственно опробования различают полевые исследования массива в естественном залегании без отбора проб и лабораторные методы, включающие отбор проб, их транспортировку, хранение и изучение.

Отбор образцов грунтов из инженерно-геологических выработок и естественных обнажений, а также их упаковку, доставку в лабораторию и хранение следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» [8].

Методы опробования должны учитывать состав пород и свойства, характер пространственной изменчивости, а также целевое назначение инженерно-геологических исследований.

Технология отбора инженерно-геологических проб из поверхностных выработок [8]

Образцы грунта отбираются из зачищенных забоя и стенок горных выработок. Для определения полного комплекса физико-механических характеристик проба может состоять из нескольких образцов.

Для лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов отбирают пробы с нарушенной или ненарушенной (монолиты) структурой.

Отбор образцов нарушенной структуры

Образцы грунта нарушенной структуры отбирают с помощью лопаты, ножа, зубила и т.д. из зачищенных дна, стенки шурфа (обнажения) или керна скважины.

Масса образцов нарушенного сложения для определения стандартного набора физических характеристик должна составлять:

- 1,5-2,0 кг – для глинистых грунтов;
- 2,0-3,0 кг для песков;
- 3,0-5,0 кг – для крупнообломочных грунтов.

По отдельному заданию могут отбираться крупнообъемные (валовые) пробы массой до 20 кг.

Образцы грунты ненарушенного сложения упаковываются в тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц (мешочки из синтетической пленки, плотной ткани и т.п.). Для образцов, требующих сохранения естественной влажности, применяют бьюксы с герметично закрывающейся крышкой. Внутри тары укладывают этикетку, которая изолируется в отдельный полиэтиленовый пакет.

Монолиты грунта отбираются режущим кольцом и ручным вырезанием из обнажений грунтов, в шурфах и подземных горных выработках.

При отборе монолитов из открытых выработок ручным способом используют нож, лопату и т.д.

На полевой практике отбор проб и полевые испытания производятся поинтервально, на глубинах 0,25 м; 0,5 м; 1,0 м. При этом дно и стенки выработки должны быть тщательно зачищены лопаткой.

Пробы нарушенной структуры отбираются при помощи ножа и лопатки, пробы песчаных грунтов ненарушенной структуры – при помощи пробоотборника из полевой грунтовой лаборатории. В стенку шурфа задавливается стандартное кольцо, аккуратно вырезается. На торцах кольца

грунт зачищается ножом вровень с краями. Для определения влажности, грунт при помощи специального выдавливателя перемещается в бюкс.

Каждая проба должна сопровождаться этикеткой (см. главу 3).

По каждому интервалу шурфа проводится микропенетрация – 10 точек.

Данные по опробованию для одного интервала приведены в [таблице 7.1](#).

Таблица 7.1 Виды работ для каждого интервала опробования

№ п.№ п.п.	Вид работ	Вид пробы	Объем единичной пробы	Кол-во Обр.
1.	Определение гранулометрического состава песка	Нарушенной структуры	Мешочек (150-200 г)	3 шт.
2.	Определение физико-химических параметров глинистых грунтов	Нарушенной структуры	Мешочек (100-150 г)	3 шт.
3.	Определение плотности и влажности грунтов	Ненарушенной структуры	2 кольца (бюкса)	3 шт.
4.	Испытания грунта на сдвиг	Ненарушенной структуры	3 кольца прибора ВСВ-25	3 шт.
5.	Микропенетрация	-		10 точек

Микропенетрация

Данный способ используется для:

1. Качественной характеристики изменчивости состояния и свойств визуально однородных глинистых грунтов.
2. Приближенного определения их числа пластичности и прочности, а также плотности песчаных грунтов.

Микропенетрометр МВ-2 ([рис. 7.1](#)) состоит из ручки 1, корпуса 2, штока 3, пружины 4, движка 5, опорной плиты 6, сменного конуса 7 (Рис. 7.1). Усилие передающееся на конус определяется только параметрами пружины. Оно не зависит от усилия, под воздействием которого опорная плита прибора прижимается к грунтовой поверхности. В результате испытания устанавливается глубина погружения в грунт стального конуса, имеющего заданный угол при вершине.

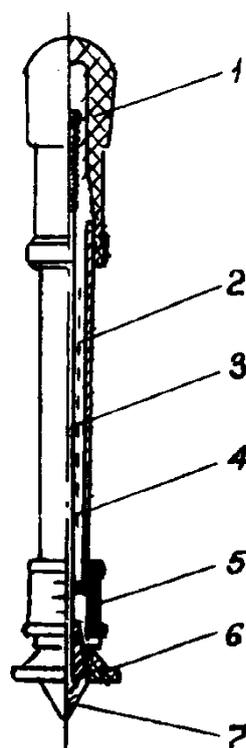


Рис.7.1. Микропенетрометр МВ-2

Проведение испытаний

В стенке или днище шурфа зачищается площадка. Движок прибора смещается вниз. Микропенетрометр устанавливают на поверхности грунта опорной плитой и, нажимая на ручку 1, внедряют конус на некоторую глубину h , фиксируемую по перемещению движка 5 с помощью круговой рис-

ки. Точность отсчета 0,25-0,5 мм. Опыт повторяют 5-10 раз. Условное предельное напряжение сдвига (кгс/см²) рассчитывают по формуле:

$$R = (Pm - Kh) / h^2, \quad (7.1)$$

где Pm - максимальная нагрузка на конус при растяжении равном 2,55 кг; K - постоянный параметр пружины (0,65 кг/см), характеризующий изменение нагрузки на конус; h - глубина внедрения конуса в см.

Результаты испытаний сводятся в [таблицу 7.2](#).

Таблица 7.2 Результаты испытаний грунта микропенетрометром

№ шурфа	Глубина, м	Номер испытания										$\bar{h}_{\text{ср.}}$ мм	R кгс/с м ²
		11	22	33	44	55	66	77	88	89	110		

По полученным данным для каждого шурфа должен быть построен график изменения R с глубиной.

Экспресс испытания грунта на сдвиг

Определение прочностных свойств грунта производится с помощью портативного сдвигового прибора ВСВ-25. Он позволяет устанавливать сопротивление песчано-глинистых грунтов одноплоскостному сдвигу, как в быстром, так и в медленном режиме.

Прибор состоит из срезывателя с подвижной нижней обоймой 1, верхней панели 2, динамометра 3 типа ДОСМ-3-1, откидных крепежных винтов 4, корпуса 5, арретирного винта 6, индикатора часового типа 7, стойки 8, динамометра 9 типа ДОСМ-3-0.2, редуктора сдвигающего усилия 10, рукоятки редуктора сдвигающего усилия 11, рукоятки редуктора вертикального давления 12, редуктора вертикального давления 13, подъемной гайки 14, рычагов включения редукторов 15 ([рис.7.2](#)).

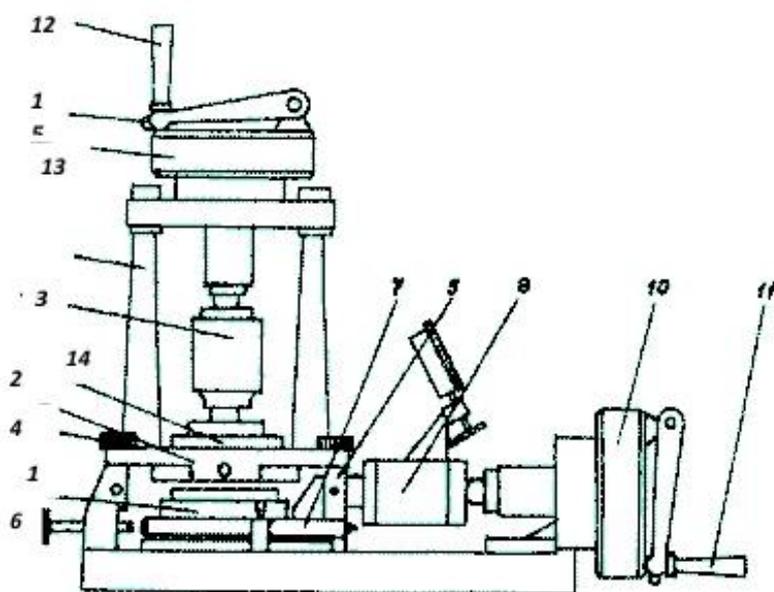


Рис.7.2. Портативный сдвиговой прибор ВСВ-25

На каждый динамометр предварительно должен быть составлен тарировочный график зависимости показаний индикатора от нагрузки (в кг). Сдвиг по песку проводится в быстром режиме при нормальном давлении 1, 2 и 3 кгс/см².

Последовательность работы

1. Кольцо с образцом грунта, покрытое с обеих сторон фильтровальной бумагой, вставляется в верхнюю неподвижную обойму срезывателя. Вращением редуктора вертикального давления на образец передается заданное нормальное давление σ_1 . Затем отпускается арретирный винт.

2. Вращением рукоятки редуктора сдвигающего усилия его передают на образец, увеличивая до полного сдвига. Сдвиг фиксируется по индикатору динамометра ДОСМ-3-0.2, либо считается состоявшимся при смещении подвижной относительно неподвижной части обоймы на 5 мм. Показания индикатора должны быть переведены в кгс, по тарировочному графику.

3. Операции п.п. 1,2 повторяют, изменяя нормальное давление до значений σ_2 и σ_3 .

4. Данные опытов заносят в журнал, который оформляется в виде [таблицы 7.3](#).

Таблица 7.3 Журнал проведения испытаний на сдвиг

№ шурфа	Глубина опробования, м	Нормальное давление		Сопротивление сдвигу		$\tau_i * \sigma_i$	σ_i^2
		Показ. индикатора	σ_i , кгс/см ²	Показ. индикатора	τ_i , кгс/см ²		
1.	0,25	1,25	1				
		1,51	2				
		1,76	3				
...

Угол внутреннего трения и удельное сцепление определяют графо-аналитическим способом.

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ - предельное сопротивление грунта сдвигу (кгс/см²), σ - нормальное давление (кгс/см²), φ - угол внутреннего трения (град.), c - удельное сцепление (кгс/см²).

$$\tau_i = Q_i/S,$$

где Q_i – усилие при котором происходит сдвиг (кгс), S – площадь кольца (40 см²).

Для определения c и φ строится график зависимости τ от σ . Масштаб - 1 кгс/см² в двух сантиметрах. Значения c и φ снимаются с графика ([рис. 7.3](#)).

Сопротивление грунта
сдвигу, кгс/см²

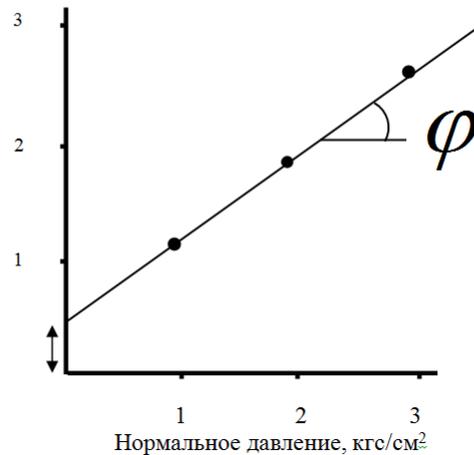


Рис.7.3. График зависимости τ от σ

Кроме того, проводится расчет прочностных характеристик методом наименьших квадратов по следующим формулам [13]:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i}{\Delta};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \sigma_i}{\Delta};$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2;$$

где n - количество сдвигов.

По этим формулам рассчитываются нормативные (средние) значения прочностных характеристик.

Определение физических характеристик песчаных грунтов

Определение плотности грунта

Плотность грунта (ρ) – это масса единицы его объема (г/см^3). На полигоне «Веневитиново» определение плотности проводится непосредственно в полевых условиях методом режущего кольца. Отбор проб производится согласно п.1. Взвешивание пустого кольца и кольца с грунтом с точностью до 0,01 г производится при помощи чашечных весов. Расчет осуществляется по формуле:

$$\rho = g_1 - g_0 / v, \quad (7.2)$$

где g_1 - вес кольца с грунтом (г), g_0 - вес кольца (г), v - объем кольца ($50,2 \text{ см}^3$).

Для каждой пробы провести два параллельных определения. За окончательный результат принять среднее значение.

Определение влажности грунта

Природная влажность грунта (W) выражает содержание в нем всех видов воды (в % или долях ед.). Определяется в грунтовой лаборатории ВГУ термостатным способом.

Ход определения:

- В заранее взвешенный бюкс (вес с крышкой – g_0) поместить 10-20 г отобранного грунта и взвесить на технических весах (g_1). Точность взвешивания – 0,01 г.

- Высушить открытый бюкс с грунтом в сушильном шкафу при температуре $100-105^0 \text{ С}$ до постоянного веса (g_2). Перед взвешиванием бюкс необходимо закрыть крышкой и охладить в эксикаторе. Первичное высушивание производится в течении 5 часов, повторные – через 2 часа. Они повторяются до тех пор, пока разница результатов повторных взвешиваний будет не более 0,02 г. За результат принять наименьший вес бюкса с сухим грунтом.

- Влажность грунта рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_o} \quad (7.3)$$

- Для каждой пробы провести два параллельных определения. За окончательный результат принять среднее значение.

Определение плотности скелета, пористости, коэффициентов пористости и водонасыщения грунта

Плотность скелета (ρ_d) – это плотность сухого грунта в условиях природного залегания (г/см³). Определяется по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \quad (7.4)$$

где ρ - плотность грунта (г/см³), W - влажность грунта (д.ед.).

Плотность частиц грунта (ρ_s) – вес единицы объема твердой компоненты. Для песков принимается равной 2,66 г/ см³, для супесей -2,70 г/ см³, для суглинков -2,71 г/ см³, для глин - 2,74 г/ см³.

Пористость (n) – это общий объем пор в единице объема грунта (в % либо д.ед.).

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}, \quad (7.5)$$

Коэффициент пористости (e) – отношение объема пор к объему твердой компоненты.

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (7.6)$$

Согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» по коэффициенту пористости выделяются следующие разновидности песков ([таблица 7.4](#)).

Таблица 7.4 Классификация грунтов по значениям коэффициента пористости [7]

Разновидности грунта	Коэффициент пористости		
	Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотные	<0,55	<0,60	<0,60
Средней плотности	0,55-0,70	0,60-0,75	0,60-0,80
Рыхлые	>0,70	>0,75	>0,80

Коэффициент водонасыщения (S_r) – степень заполнения объема пор водой.

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w}, \quad (7.7)$$

где ρ_w - плотность воды (1 г/см³).

Согласно ГОСТ 25100-2020 по данному показателю выделяются следующие разновидности песков (таблица 7.5):

Таблица 7.5 Классификация грунтов по значениям коэффициента водонасыщения

Разновидности	Коэффициент водонасыщения
Малой степени водонасыщения	0-0,50
Средней степени водонасыщения	0,50-0,80
Насыщенные водой	0,80-1,00

Определение гранулометрического состава песчаных грунтов

Проводится ситовым методом по пробам нарушенной структуры. При этом используется набор сит согласно ГОСТ 25100-2020 диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Подготовка образца:

- В течении 1-2 суток песок сушится на листе бумаги. Затем грунт растирается в ступке при помощи резинового пестика.

- Высушенный на воздухе и растертый образец тщательно перемешать. При помощи линейки распределить грунт на листе бумаги в виде слоя толщиной несколько мм. Методом квартования отобрать 100 г грунта.

- Отобранную пробу взвесить на технических весах с точностью до 0,01 г. Результаты взвешивания занести в рабочий журнал.

Ход опыта:

- Сита собрать в колонну так, чтобы их диаметр уменьшался сверху вниз. Под нижнее сито подставить поддон. В верхнее сито высыпать грунтовую пробу, надеть крышку. Просеивание осуществлять с помощью легких боковых ударов ладонями до полной сортировки частиц.

- Содержимое каждого сита, начиная с крупных, перенести в отдельную ступку и дополнительно обработать резиновым пестиком, после чего вновь просеять через то же сито над листом бумаги. Мелкие частицы, которые пройдут через него перенести на следующее сито и продолжать обработку до полного прекращения разрушения микроагрегатов.

- Содержимое каждого сита и поддона высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашечки и взвесить с точностью 0,01 г. Данные записать в журнал.

- Результаты анализа выразить в процентах.

Согласно ГОСТ 25100-2020 по гранулометрическому составу выделяются следующие разновидности песков ([таблица 7.6](#)):

Таблица 7.6 Классификация грунтов по данным гранулометрического анализа

Разновидность песка	Размер зерен в мм	Содержание в % по массе
- гравелистый	>2	>25
- крупный	>0,50	>50
- средней крупности	>0,25	>50
- мелкий	>0,10	>=75
- пылеватый	>0,10	<75

По результатам лабораторных анализов грунтов необходимо составить сводную таблицу ([Приложение 7](#)) и уточнить их разновидность согласно ГОСТ 25100-2020.

8. Опытные наливывы в шурфы

Опытные наливывы применяются для определения водопроницаемости однородных по литологическому составу грунтов, залегающими выше уровня грунтовых вод в зоне неполного водонасыщения пород (в зоне аэрации).

Основным параметром, определяющим фильтрационные свойства грунтов, является коэффициент фильтрации (Кф). Согласно закону Дарси

$$K_f = Q/FI, \quad (8.1)$$

где Q – расход фильтрационного потока, F – площадь его поперечного сечения, I – гидравлический градиент (напор).

При инженерно-геологических изысканиях для определения проницаемости грунтов руководствуются ГОСТ 23278-2014 [14]. Испытание следует выполнять в грунтах, близких к однородным по гранулометрическому составу и плотности сложения. В период испытания фронт промачивания не должен достигать капиллярной каймы грунтовых вод или слоя грунта с резким уменьшением проницаемости. Испытания рекомендуется проводить при мощности зоны аэрации не менее 2 м.

Испытание надлежит проводить [14]:

а) при постоянном напоре воды в шурфе:

- 1) с достижением стабилизации расхода воды,
- 2) без достижения стабилизации расхода воды;

б) при мгновенном наливыве со свободным понижением уровня.

Для проведения опыта в дне шурфа устанавливается одно или два металлических кольца, в которые наливается вода и поддерживается постоянный напор.

Налививы выполняются по методике А.К. Болдырева либо Н.С. Нестерова [23]. Суть этих опытов состоит в наблюдении за ходом инфильтрации воды из шурфов и получении характеристик инфильтрационного потока

при поддержании постоянного уровня воды в шурфе в процессе опыта. В условиях инфильтрации воды из шурфов основными действующими силами являются гидростатический напор слоя воды и капиллярное всасывание, совпадающее по направлению с инфильтрационным потоком. Факторами, осложняющими проведение опытной инфильтрации, являются боковое растекание инфильтрационного потока (особенно интенсивное в глинистых и суглинистых породах) и влияние на инфильтрацию заземленного в породах воздуха. При этом растекание воды под действием капиллярных сил и влияния заземленного воздуха не учитываются, так как оба фактора действуют в противоположном направлении.

Опыты проводятся при постоянном напоре до стабилизации расходов, и коэффициенты фильтрации рассчитываются исходя из условия установившегося (квазистационарного) режима фильтрации. При этом глубина промачивания не должна достигать капиллярной каймы грунтовых вод, или границы грунта с иной водопроницаемостью.

Способ А.К. Болдырева. Налив производится в одно кольцо без учета влияния капиллярных сил ([рис. 8.1](#)). Поэтому он может применяться только в песках от средней крупности до гравелистых, галечниках, а также трещиноватых скальных породах. Для наливов в песчаные грунты используется кольцо диаметром от 25 до 50 см (согласно ГОСТ – не менее 35 см), высотой 20-25 см, задавливаемое в дно зумпфа не более чем на 2,5 см, для предотвращения фильтрации воды пространство за кольцом утрамбовывается влажной глиной или суглинком. Чтобы предохранить грунт от размыва и заиления, дно зумпфа засыпают слоем мелкого гравия мощностью 2-3 см. Для наблюдения за уровнем воды в кольце к его стенке прикрепляют рейку высотой 10 см с нулевой отметкой на дне зумпфа. Фиксируется время, необходимое для снижения уровня воды в кольце на каждый сантиметр.

Способ Н.С. Нестерова. По этому способу проводятся опыты для определения водопроницаемости связных (глинистых) грунтов, а также мелких и пылеватых песков. Налив производится одновременно в два стальных кольца, concentрически вдавливаемых в грунт на глубину до 2,5 см (рис. 8.1). Диаметр наружного кольца должен быть не менее 50 см, внутреннего – не менее 25 см (соотношение диаметров 1:2). Подготовка к опыту такая же, как по способу А.К. Болдырева. При наливе в зазоре между кольцами поддерживается постоянный уровень воды, что позволяет принимать поперечное сечение инфильтрующегося потока равным площади внутреннего кольца.

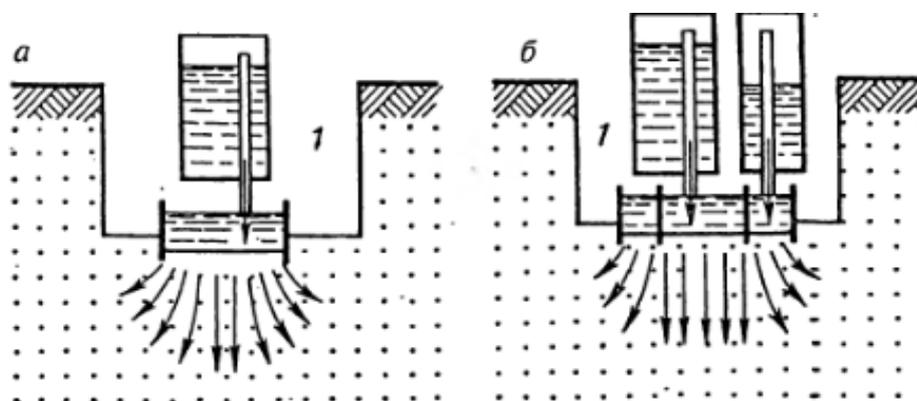


Рис. 8.1 Схемы наливов в шурфы:

а) методом Болдырева; б) методом Нестерова

При проведении опытов и обработке их результатов принимается, что породы в зоне инфильтрационного потока однородны в фильтрационном отношении. Опыт ведут при постоянной высоте столба воды в зумпфе $H_0 \approx 10$ см, который поддерживают путем поступления воды из мерного бака через автоматические регуляторы.

Подготовку к испытанию необходимо проводить в следующем порядке:

- установка колец инфильтрометра с вдавливанием на глубину до 2 см в зумпф шурфа с дном, засыпанным слоем 1—2 см крупнозернистого песка или гравия;

- при использовании системы автоматического поддержания уровня — установка и проверка вододачи.

Пространство за внешним кольцом инфильтрометра следует заполнить утрамбованным грунтом.

При проведении испытания надлежит выполнить следующие основные операции:

- заполнение инфильтрометра водой слоем 10—20 см;
- непрерывная подача воды для поддержания уровня, одинакового во внутреннем и внешнем кольце;
- измерения уровня и расхода налива;
- ведение журнала испытаний (приложение 8);
- бурение скважины (после окончания налива) для отбора проб грунта на влажность.

Измерение расхода воды следует производить через 10 мин в течение первого часа, далее через 20—30 мин.

Погрешность измерения расхода должна быть не более 5 %. Колебания уровня воды в инфильтрометре должны быть не более 1 см.

В процессе налива с постоянным напором следует строить для внутреннего кольца график зависимости расхода Q от времени t (рис. 8.2) и расчетный график зависимости QW от W (рис. 8.3), где W — кумулятивный объем впитавшейся с начала налива воды [14].

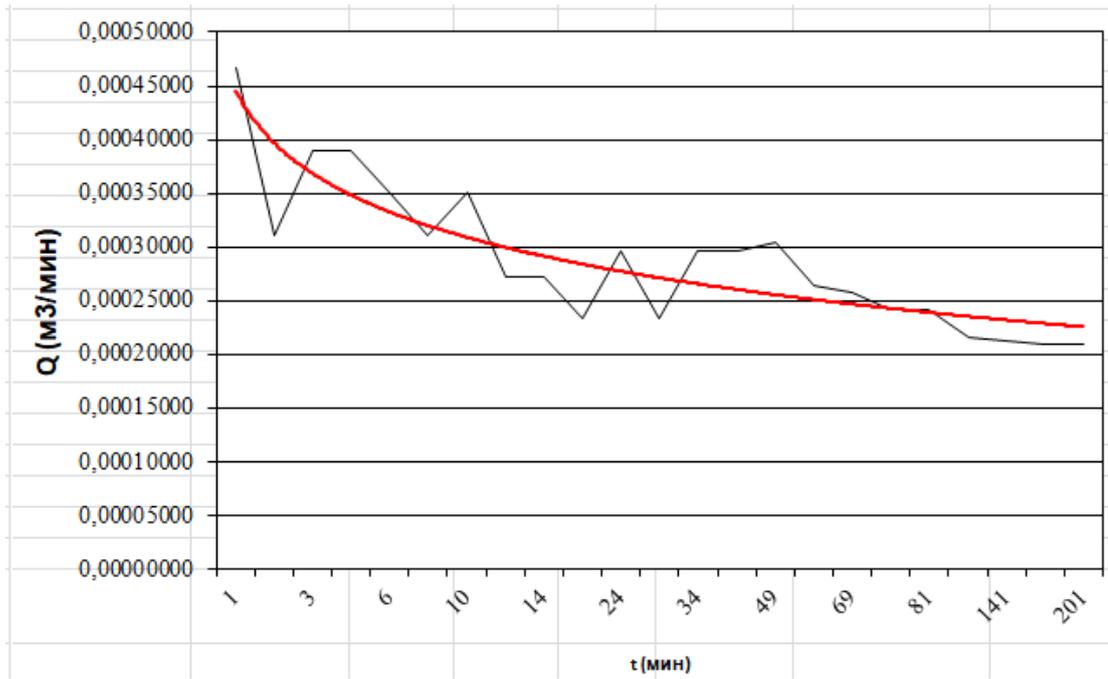


Рис. 8.2 График зависимости расхода Q от времени t

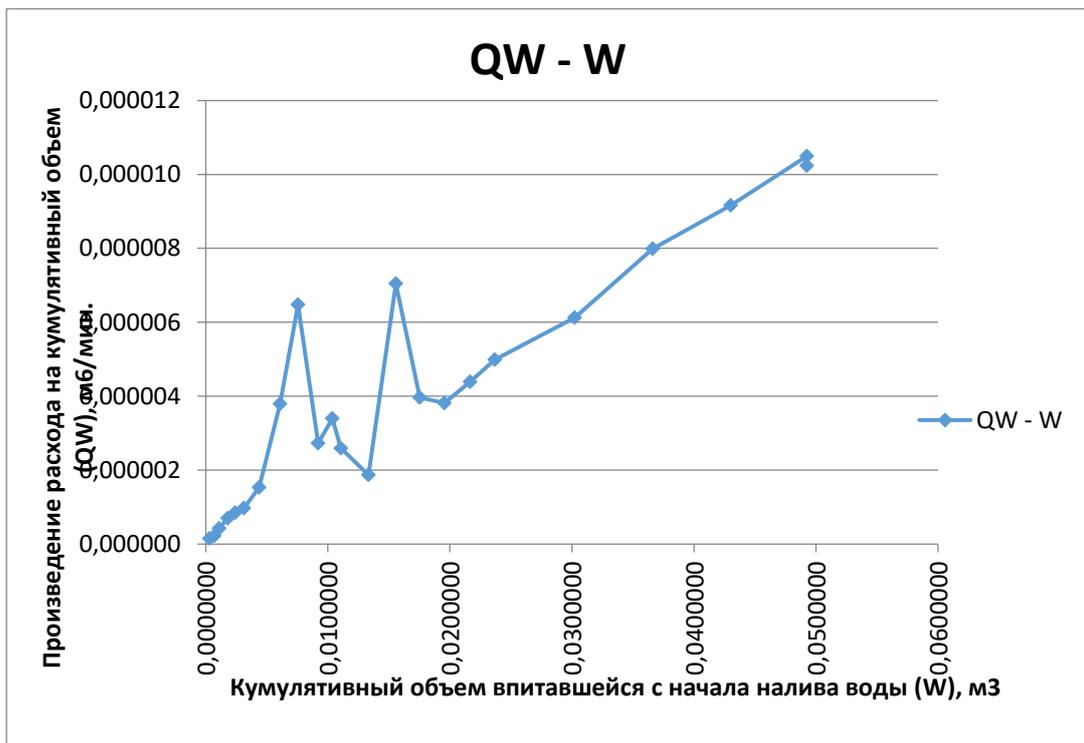


Рис. 8.3 График зависимости QW от W

Через 6 ч после стабилизации расхода (с изменчивостью до 5 %) или выхода графика зависимости QW от W на прямую линию испытание может быть прекращено.

При стабилизации расхода коэффициент фильтрации рассчитывается по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{Ql}{F(h_0 + h_k + l)}, \quad (8.2)$$

где l - глубина просачивания воды от дна шурфа ; h_0 – толщина слоя воды во внутреннем кольце; h_k – действующее капиллярное давление.

Глубина промачивания грунта (l) устанавливаю бурением двух скважин – одной из центра шурфа, другой рядом с шурфом. На полевой практике глубину промачивания принимают равной 2,0 м, характерная глубина промачивания для мелких песков при длительности опыта 6-8 ч.

Значение h_k равно примерно 50% от максимальной высоты капиллярного поднятия [23] (таблица 8.1).

Таблица 8.1 Значения капиллярного поднятия в грунтах

Грунт	Высота капиллярного поднятия, м
Глина, суглинок тяжелый	0,7
Суглинок легкий	0,5
Супесь	0,3
Песок мелкий глинистый	0,15
Песок мелкий чистый	0,1

При неустановившемся режиме фильтрации расчет параметров производится по Н.Н. Биндеману.

Коэффициент фильтрации в рассчитывается по формуле:

$$K_{\phi} = 864 \frac{1,44\beta W}{Ft}, \quad (7.3)$$

где W - общий объем воды, поступившей в грунт через внутреннее кольцо за время t от начала опыта см^3 , β - коэффициент, зависящий от отношения t/t_1 (t_1 - продолжительность опыта, при которой объем воды составляет половину общего объема воды, поглощенной за время опыта t , сек), F - площадь кольца см^2 , 864 - переводной коэффициент (из $\text{см}/\text{сек}$ в $\text{м}/\text{сут}$).

По результатам опыта строится график зависимости W от t (рис. 8.4), по которому определяется значение t_1 [23].

Классификация грунтов по данным гранулометрического анализа.

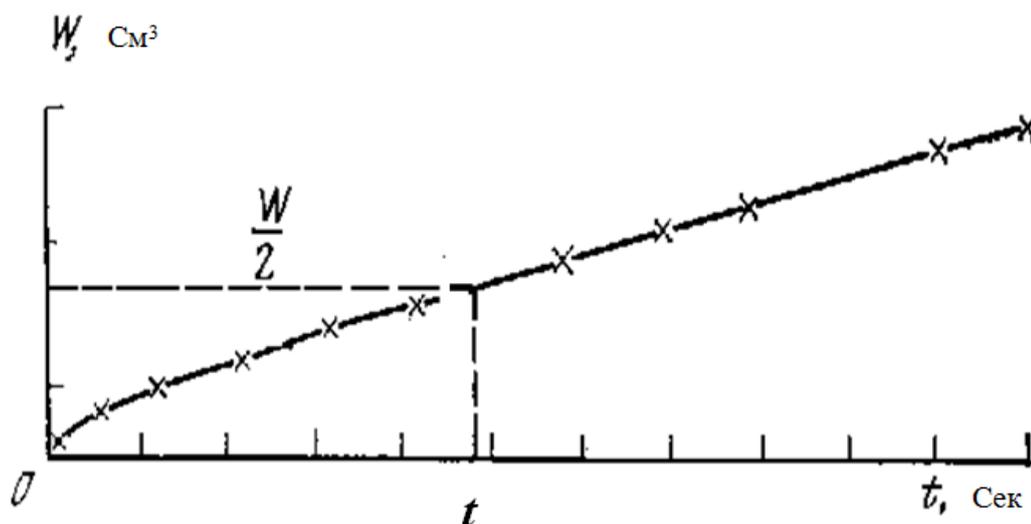


Рис. 8.4 График зависимости W от t

Значения коэффициента β устанавливаются со следующего графика (рис. 8.5).

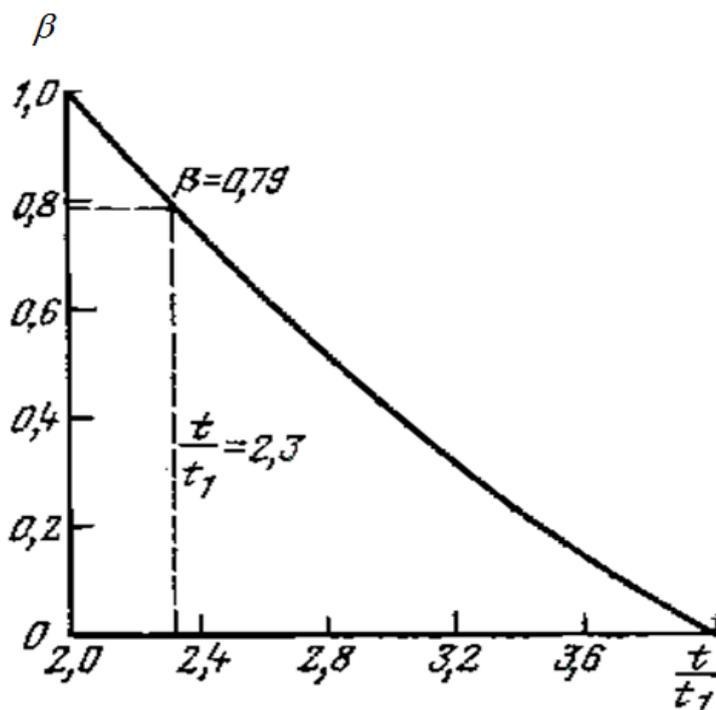


Рис. 8.5 График зависимости β от t/t_1 [23]

На полевой практике налив в шурфы проводятся в песчаные отложения первой надпойменной террасы методом Нестерова (пески мелкие, пылеватые). Налив проводится одновременно в два стальных кольца, концентрически вдавливаемых в грунт на глубину до 2-3 см. Наблюдения проводятся до условной стабилизации расхода.

Расчет производится двумя методами.

Результаты опытного налива в шурф с постоянным напором при стабилизации расхода оформляются в таблице Excel ([Приложение 8](#)).

9. Экспресс-откачки воды из скважин, работающих через дно

Согласно требований действующих нормативных документов [14, 41] основным методом определения геофильтрационных параметров водоносных горизонтов являются опытные откачки (опытные наливывы).

Для массового опробования фильтрационных свойств пород и более качественной оценки водообильности пласта дополнительно к опытным откачкам применяются экспресс-методы, основанные на анализе наблюдений за изменением уровня воды в скважине после кратковременного возмущения напора в водоносном пласте и относятся к вспомогательным методам.

Экспресс-откачки допускается проводить для всех видов строительства к Технико-экономическим обоснованиям (ТЭО) или Технико-экономическим расчетам (ТЭР) при сравнении отдельных вариантов размещения сооружения, при съемках и рекогносцировочных обследованиях, а также при поисках подземных источников водоснабжения.

Экспресс-откачки допускается проводить также в тех случаях, когда по техническим причинам невозможно провести пробную или опытную откачку, и при опробовании слабопроницаемых пород [14,33]. В соответствии с требованиями ГОСТ 23278-2014 опытные откачки в скважинах с глухими стенками через забой необходимо проводить при их диаметре более 50 см.

В зависимости от способа воздействия на водоносный пласт и конструкции скважин различаются следующие виды экспресс-откачек: тартавание; откачки из скважин, работающих дном; опробование скважин с применением испытателей пластов; опережающее опробование [14].

Эти методы основаны на данных наблюдений за напором в скважине после быстрого возмущения подземных вод, т.е. после кратковременной откачки. При кратковременных откачках (мгновенных) в скважинах создается быстрое понижение напора, в течение которого пьезометрическая воронка у скважины не успевает образоваться и затем начинается восстановление

начального напора (уровня или давления), по которому и определяются параметры.

Мгновенные откачки особенно целесообразно применять для слабопроницаемых грунтов, в которых пьезопроводность (уровнепроводность) мала и в период действия мгновенного импульса изменения напора (уровня или давления) за стенками скважины практически не происходит.

В период восстановления напора после мгновенного его понижения имеет место приток в скважину и накопление в ней жидкости, что следует учитывать, но в некоторых случаях приток в скважину и аккумуляция в ней воды не происходит, т.е. на стенке скважины принимается условие $Q = 0$.

Мгновенное изменение напора в скважине осуществляется следующими способами:

- кратковременным включением насоса или компрессора, что вызывает быстрое понижение уровня в скважине, после выключения насоса (компрессора) по уровнемеру регистрируется восстановление уровня в скважине (в этом случае имеет место аккумуляция воды в скважине);
- желонированием скважины - наиболее распространенный в практике инженерных изысканий способ быстрого понижения воды.

Экспресс-методы дают надежные результаты при проведении опытов в основном в необсаженных скважинах, т.е. в скважинах, пройденных в относительно устойчивых породах (суглинках, глинах, торфах и т.д.).

В случае, когда откачка производится в обсаженных скважинах через дно (например, в процессе бурения), определение коэффициента фильтрации (k) производится по формуле [33]:

$$k = \alpha(r_0/t) \ln(u_0/u_t) , \quad (8.1)$$

где α - коэффициент, для плоского дна $\alpha = 0,5$, для полусферического $\alpha = 0,25$, для промежуточного случая, наиболее близкого к практике $\alpha = 0,375$; r_0 – радиус скважины; t – время восстановления уровня.

Формулу (8.1) можно записать в виде

$$\ln(u_0/u_t) = At, \quad A = k/\alpha r_0 \quad (8.2)$$

Из этого следует, что все точки на графике $\ln(u_0/u_t) - t$ должны ложиться на прямую линию, проходящую через начало координат. Поэтому и обработку опытных данных следует вести на основе построения указанного графика.

По графику находится значение A (Рис. 8.1)

$$A = tg\alpha = \left(\ln \frac{S_0}{S_1} - \ln \frac{S_0}{S_2} \right) / (t_1 - t_2) \quad (8.3)$$

При известном A определяется k

$$k = A \alpha r_0, \quad (8.4)$$

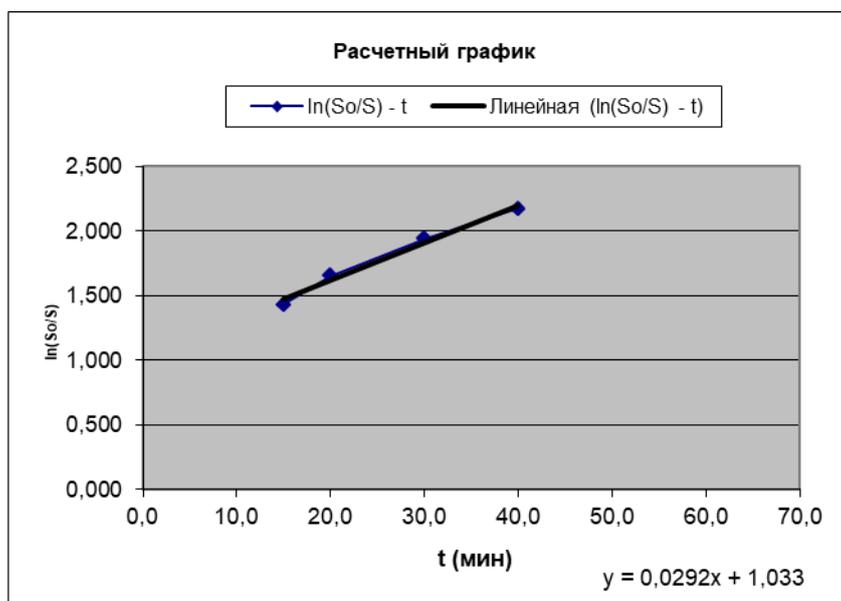


Рис. 9.1 График для определения значения A на прямолинейном участке

На учебном полигоне Веневитиново экспресс-откачку проводят из скважины с глухими стенками (безфильтровой) диаметром 219 мм, глубиной 6,0 м. На забое скважины находятся мелкие пески ([Приложение 11](#)).

Понижение уровня в скважине проводят центробежным насосом (поверхностным или погружным). Перед началом откачки фиксируется статический уровень подземных вод в скважине. Откачку проводят до момента, когда вода понизится ниже уровня водоподъемных труб (до прекращения подачи воды). После этого насос выключают и производят замеры уровня воды в скважине до восстановления статического уровня.

Частота измерений уровня воды определяется логарифмическим характером увеличения времени между ними. Измерения следует производить в следующие моменты после начала опыта: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мин.

Результаты наблюдений за восстановлением уровня грунтовых вод заносятся в журнал наблюдений ([Приложение 9](#)).

В камеральный период студенты результаты наблюдений оформляют в таблице Excel, строят графики откачки и рассчитывают коэффициент фильтрации ([Приложение 10](#)).

10. Опытная откачка воды из скважины: кустовая и одиночная

Откачка представляет собой способ принудительного отбора подземных вод из горных выработок (скважин, колодцев, шахт), вызывающий изменение гидродинамического режима в водоносном пласте (изменение напоров, скоростей фильтрации).

Откачки по своему назначению и условиям проведения могут быть пробными, опытными и опытно-эксплуатационными. Различия этих видов откачек определяются методикой их проведения.

Основным видом опытных работ, проводящихся на всех стадиях гидрогеологических исследований являются *опытные откачки*. Они проводятся с целью:

- определения расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, пьезо– и уровнепроницаемости, перетекания);
- изучения граничных условий водоносных горизонтов в плане и разрезе (взаимосвязи подземных и поверхностных вод, фильтрационного сопротивления подрусловых отложений, взаимодействия смежных водоносных горизонтов);
- определения зависимости между дебитом скважины и понижением уровня в ней.

В зависимости от наличия или отсутствия наблюдательных скважин опытные откачки подразделяются на *кустовые и одиночные*.

Одиночные опытные откачки проводятся, обычно, для установления зависимости дебита от понижения. В связи с этим, в отличие от пробных, одиночные опытные откачки проводятся с 2–3 степенями дебита.

Кустовые откачки – основной вид опытных работ для определения гидрогеологических параметров и изучения граничных условий.

Под схемой опытного куста скважин понимается количество скважин и характер их расположения в плане и разрезе. При этом имеется в виду, что одна из скважин называется центральной и является возмущающей (из нее производится откачка). Остальные скважины называются наблюдательными, и по ним проводится замер понижения уровня подземных вод.

Во время учебной практики студенты выполняют опытную кустовую откачку с целью определения коэффициента фильтрации для первого от поверхности безнапорного водоносного современного аллювиального горизонта (*a IV*).

Схематический гидрогеологический разрез представлен в приложении 11.

В организацию ОФР входят подготовка скважин, установка водоподъемника, прокачка, собственно опытная откачка.

Для правильного проведения работ необходимо выполнять следующие требования:

- откачка должна быть непрерывной во времени и достаточно продолжительной, чтобы получить квазиустановившийся режим фильтрации;
- замеры уровня воды в процессе откачки проводятся электроуровнеммером с периодичностью: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мин, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 7, 8, 9, 10 ч, далее интервал 2 ч [14].

После проведения откачки проводятся аналогичные наблюдения за восстановлением уровня, которые также используются для расчета параметров. Результаты замеров записываются в журнал наблюдений за откачкой ([Приложение 12](#)).

В течение всего периода проведения опыта откачка воды не должна приводить к осушению фильтра и насоса. Если произошло преждевременное осушение, следует остановить опыт, дождаться восстановления и про-

известии новый опыт с меньшим значением дебита. Длительность восстановления определяется достижением статического уровня.

Дебит измеряют одновременно с понижениями.

Откачиваемая вода должна быть отведена за пределы развития депрессионной воронки, в естественное понижение рельефа.

Определение гидрогеологических параметров при откачках с постоянным дебитом проводится аналитическим способом для периода стационарной фильтрации. В целом на графиках изменения уровня подземных вод в процессе опытной откачки выделяется три этапа ([рис. 10.1](#)):

I этап – **нестационарный** ($\Delta S / \Delta \lg t \neq const$);

II этап – **квазистационарный** ($\Delta S / \Delta \lg t = const$); I

III – этап стационарный (**установившийся**) $\Delta S / \Delta \lg t = 0$.

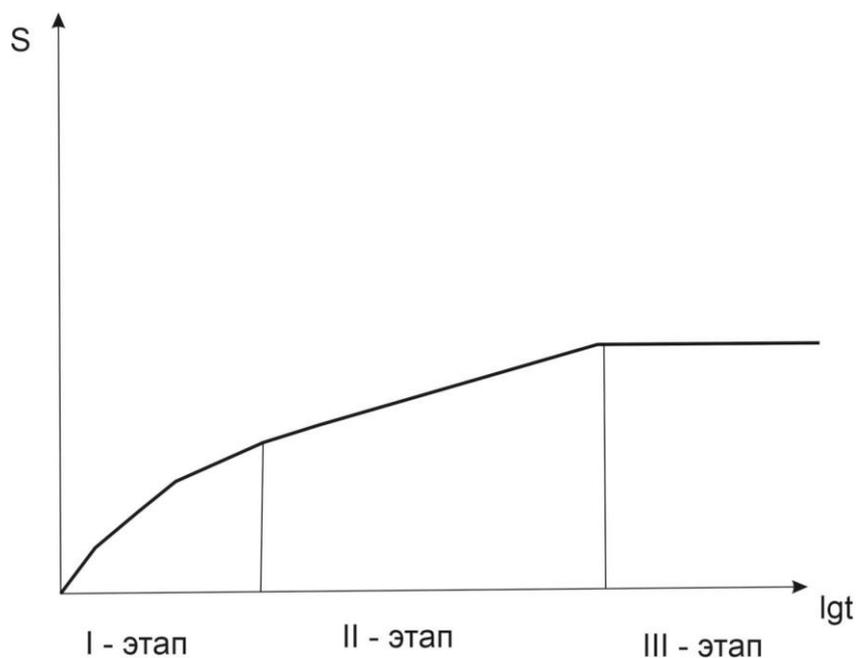


Рис. 10.1 Индикаторный график временного прослеживания уровня при откачке

На первом участке точки графика не ложатся на прямую линию. Этот участок отвечает периоду времени, при котором движение подземных вод носит неустановившийся характер и описывается сложными зависимостями.

Второй участок графика носит название квазистационарной (упорядоченной) фильтрации.

На третьем участке происходит стабилизация гидростатического напора, когда выполняется условие: $\Delta S / \Delta \lg t = 0$.

Для периода стационарной фильтрации используется аналитический способ расчета фильтрационных параметров по формулам 10.1-10.3 [42].

Для центральной скважины – формула 10.1; для центральной и наблюдательной скважины – формула 10.2; для двух наблюдательных скважин – формула 10.3.

$$K = \frac{0.73Q \lg(R_n / r_0)}{(2h - S_0)S_0} \quad (10.1)$$

$$K = \frac{0.73Q \lg(r_2 / r_1)}{(2h - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)} \quad (10.2)$$

$$K = \frac{0.73Q \lg(r_2 / r_1)}{(2h - S_1 - S_2)(S_1 - S_1)} \quad (10.3)$$

где:

K – коэффициент фильтрации (м/сут);

Q – дебит (производительность водоподъемного оборудования (насоса)) м³/сут;

S_0 – понижение уровня подземных вод в центральной скважине (м);

S_1, S_2 – понижения уровня (м) подземных вод в наблюдательных скважинах с соответствующими номерами;

r_1, r_2 – расстояния (м) от центральной скважины до наблюдательных скважин с соответствующими номерами.

Для отражения основных исходных параметров строится схема опытного куста ([рис. 10.2](#)).

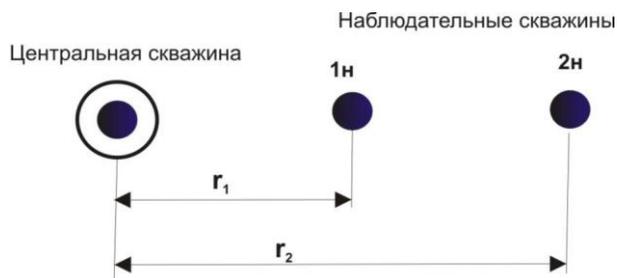


Рис. 10.2 Схема опытного куста

Документация опыта кустовой откачки проводится на основе заполнения журнала откачки (Приложение 9).

Расчет коэффициента фильтрации выполняется по формулам 10.1-10.3. Данные расчетов заносятся в [таблицу 10.1](#).

Таблица 10.1 Результаты расчета коэффициента фильтрации по результатам опытной откачки

Метод расчета	Коэффициент фильтрации, м/сут
По центральной скважине	
По центральной и наблюдательной скважинам	
По двум наблюдательным скважинам	

11. Маршрутные гидрогеологические наблюдения и опробование

Целью маршрутных наблюдений является приобретение первичных навыков ландшафтных наблюдений, описания водотоков и проявлений подземных вод.

Маршрутное обследование является традиционным методом геологических исследований, позволяющее всесторонне оценивать район прохождения практики. Данный вид работ представляет собой начальный этап специализированной гидрогеологической практики. В маршруты направляются группы студентов по 8-10 человек под руководством ведущего преподавателя. Перед началом маршрута проверяется готовность студентов и бригады в целом. В связи с тем, что значительная часть маршрутов осуществляется в лесу, с наличием заболоченных участков, на студентах должна быть надежная обувь, одежда с длинным рукавом, головной убор. Данные меры – защита от нападения змей, энцефалитных клещей и других насекомых. Необходимый набор оборудования уточняется с преподавателем перед каждым маршрутом и включает: топографическую карту местности, геологическую карту окрестной территории, компас, лопату, рулетку, емкости для опробования воды, спиртовой термометр, полевую гидрохимическую лабораторию, мешочки для отбора образцов грунта, этикетки для проб, рюкзак, походную аптечку, навигаторы.

Каждый тематический маршрут имеет название. Студенты знакомятся с целями проводимых наблюдений. В дневнике бригады указывается дата маршрута, описание и привязка точек наблюдений. Пункты наблюдения приурочены к характерным проявлениям геологических, гидрогеологических условий участка исследований. Каждая точка наблюдений подробно описывается, сопровождается зарисовками обнажений, проявлений экзогенных геологических процессов и явлений, выходов подземных вод и поверхностных водотоков, характера техногенной нагрузки и т.п. По ходу

маршрута производится описание и картирование элементов рельефа, ландшафта, водных объектов и т.п.

Маршрут сопровождается навигационным устройством (навигатор GARMIN и др.), позволяющим оперативно привязывать точки наблюдения и прокладывать маршрутный путь по заданным координатам.

Результаты маршрутных исследований представляются в виде следующей документации:

- описание маршрутов и схематическое тематическое картирование;
- рисунки, отражающие форму и геометрические размеры наблюдаемых объектов;
- фотографии наиболее характерных проявлений гидрогеологической обстановки.

Ландшафтные наблюдения

Проводятся по маршрутам, начальной точкой которых является р. Усмань, пересекают I, II надпойменные террасы р. Усмань, и завершаются на озере Маклок. Ландшафтные наблюдения предполагают выделение таксономических единиц, характеризующихся однородным геолого-географическим строением. В основе их выделения лежат:

- особенности геоморфологического строения территории;
- геологическое строение верхней части разреза;
- глубина залегания верховодки, степень дренированности территории, наличие заболоченности;
- характер растительных ассоциаций.

На карту наносятся элементы рельефа, их морфометрия, особенности литологии приповерхностных отложений, участки заболачивания, родники.

Озеро Маклок представляет собой озеро правобережья р. Усмань. В режим его питания включены как атмосферные осадки, так и подземные воды. Озеро с пресной водой, характеризуется слабокислой реакцией.

Гидрогеологические наблюдения

Целью маршрутных гидрогеологических наблюдений является изучение областей питания и разгрузки приповерхностных водоносных горизонтов и комплексов.

В этой связи производится описание водораздельной зоны и выходов подземных вод. В пределах первой зоны осуществляется опробование песков зоны аэрации и определение их коэффициентов фильтрации в ненарушенном строении с использованием трубки СПЕЦГЕО. С этой целью проходятся шурфы глубиной до 1 м в различных геоморфологических формах в пределах водораздела. Имеющиеся выходы подземных вод описываются с соответствующей привязкой к гидрогеологическому подразделению. Это родник у озера Маклок, серия родников и пластовый выход подземных вод в долине р. Усманка. При описании родника указываются водовмещающие породы, наличие каптажа, его восходящий либо нисходящий типы. С использованием мерной емкости определяется расход родника. При слабом высачивании предварительно проводится сооружение временной канавы, в которой и осуществляются все гидрометрические наблюдения (скорость и расход потока). Из каждого родника проводится отбор пробы на сокращенный химический анализ. Емкость для пробы предварительно ополаскивается водой, предназначенной для анализа. В процессе гидрогеологических маршрутов студенты знакомятся с водозаборным сооружением и полигоном гидрогеологического мониторинга. Полигон включает семь скважин, расположенных по двум лучам. Один ориентирован по потоку, второй – в крест простирания потока. Скважины располагаются на первой надпойменной террасе р. Усмань. Студенты знакомятся с особенностями пробоотбора из скважин, проводят предварительную ручную прокачку скважин.

Измерение уровней подземных вод осуществляется уровнемером, параллельно производятся термометрические наблюдения. Гидрогеологический мониторинг осуществляется в течение всей практики дважды в день (утром и вечером).

В процессе маршрутов студентами производится отбор проб воды, пробы фиксируются в ведомости отбора (Приложение 2).

Результаты гидрогеологических наблюдений представляются в виде схематической гидрогеологической карты, графиков мониторинга гидрогеодинамических и термометрических показателей неоген-четвертичного водоносного комплекса, таблиц и графиков химического состава подземных вод.

12. Гидрометрические исследования на реках

Гидрометрия является частью более общей науки – гидрологии. Основными задачами гидрометрии являются: 1) разработка методов и приборов для количественного определения и учета различных методов режима водных объектов; 2) систематическое изучение гидрологического режима водных объектов для получения многолетних характеристик уровней, стока воды и наносов, химического состава воды, температуры воды, ледовых явлений и пр.

Гидрометрические наблюдения производятся для оценки ряда параметров поверхностных водотоков: ширина реки, глубина реки, скорость течения водотока, расходы реки и др., которые используют для выполнения гидрологических и водохозяйственных расчетов при проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, а также для научных выводов и обобщений в гидрогеологии. Данный метод широко используют при площадных гидрогеологических исследованиях (гидрогеологическая съемка и т.д.), для оценки ресурсов подземных вод зоны активного водообмена, для количественной оценки разгрузки подземных вод в гидрографическую сеть территории (модуль подземного стока, объем подземного стока).

Главными задачами гидрологических исследований, проводимых во время гидрогеологической съемки являются: изучение взаимосвязи подземных и поверхностных вод, измерение расходов поверхностных вод, оценка естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена в бассейнах рек исследуемой территории.

На практике величина подземного стока отождествляется с естественными ресурсами подземных вод. Однако подземное питание рек (подземный сток в реки) практически всегда меньше общего подземного стока или питания подземных вод, разгрузка которых осуществляется не только в

поверхностные водотоки (реки и ручьи), но и родниковым стоком, испарением и транспирацией.

В настоящее время разработаны различные методы оценки питания подземных вод, наиболее распространенным из которых является метод определения меженного подземного стока в реки.

Исходными материалами для оценки подземного стока в реки являются:

- результаты измерений летне-осенних меженных расходов водотоков на временных гидрометрических створах;
- данные о площадях водосборов водотоков, в том числе участков водосборов, ограниченных положением временных гидростворов;
- сведения о ежедневных расходах рек по наблюдательной сети Росгидромета (данные, содержащиеся в базе данных государственного мониторинга поверхностных водных объектов, ведение которого осуществляется подразделениями Росгидромета);
- карта распространения основных гидрогеологических подразделений.

Для оценки подземного стока гидрологические исследования проводятся в период летне-осенней межени при отсутствии поверхностного стока и интенсивного выпадения атмосферных осадков на дневную поверхность. В этот период расходы рек, находящихся в природных (естественных) условиях, формируются в основном за счет разгрузки в них подземных вод.

В состав гидрометрических работ входят:

- гидрологические и гидрогеологические рекогносцировочное обследование рек и выбор участков для устройства гидрометрических створов;
- оборудование временных гидрометрических створов и определение площади поперечного сечения русла водотока на каждом створе;
- определение скорости течения и расходов водотоков.

Рекогносцировочное обследование рек и выбор участков для устройства гидрометрических створов включают:

- визуальный осмотр долин рек и определение морфометрических характеристик: формы долины, их очертаний в плане, описания пойм и надпойменных террас с отражением их ширины и высоты;

- установление наличия родников, описание характера выхода источника (одиночный, групповой, пластовый), определение дебита источника, определение физических свойств воды, отбор проб подземных и поверхностных вод на химический анализ и определение неустойчивых компонентов химического состава, определение температуры подземных вод в месте выхода родника;

- выявление участков рек с прямолинейным течением потока, на которых отсутствуют притоки водотоков меньшего порядка, для размещения на таких участках гидрометрических створов;

- выявление распространения проявлений экзогенных геологических процессов (оползней, селей, карстовых воронок, осыпей, конусов выноса и др.).

Устройство временных гидрометрических створов и определение площадей поперечных сечений профилей рек

На каждом выбранном участке оборудуются по два гидрометрических створа на расстояниях равных двукратной ширины водотоков, на малых притоках – до пятикратной их ширины.

Каждый гидрометрический створ устанавливается перпендикулярно течению реки и закрепляется на обоих берегах реперами (столбами или вежами). Для каждого створа устанавливаются координаты и абсолютные отметки берега реки.

При расстояниях между реперами менее 50 м между ними протягиваются капроновая веревка или тонкий (2-4 мм) металлический трос, размеченные железными скобами, на которых цифрами отмечаются расстояния кратные 0,5 и 1 м.

Основными методами измерения глубин водоемов в настоящее время являются: *гидрометрическая штанга (наметка), лоты, эхолоты, гидролокаторы, лидары.*

На реках глубиной до 1,0 м и скорости течения менее 0,5 м/с промеры глубины реки выполняются вброд с помощью гидрометрической штанги. Гидрометрическая штанга (наметка) представляет собой сборный (секциями по 1,0-1,5 м) круглый металлический шест диаметром 3 см с 10-сантиметровыми делениями. Она применяется при глубинах рек до 2,0-3,0 м и скоростях течения воды менее 0,5 м/с. Во избежание погружения в ил штанга оборудуется поддоном в виде диска диаметром 7,5-15 см. Нижняя поверхность поддона совпадает с нулевым делением наметки. В момент измерения шест должен быть установлен вертикально. При волнении берется средний из отсчетов по гребню и ложбине волны, прошедший через наметку. Точность измерения глубины с помощью наметки примерно 2%. При ширине рек (ручьев) до 10 м расстояния между промерными вертикалями сужают до 0,2 м. Отсчет глубин рек на промерных вертикалях производится по маркам (отметкам) на гидрометрических штангах.

Лоты бывают ручные и опускаемые с лебедки (*рыбалоты*). Ручной лот состоит из груза массой до 4 кг, подвешенного на капроновом или пеньковом канате (*лотлине*) диаметром 6-8 мм и длиной до 30 м. Лотлинь размечается на деления через 0,1-0,2 м.

Лот применяется для промеров на озерах и водохранилищах. Точность этого способа ниже и составляет 0,1-0,2 м. Снижение точности измерений происходит за счет прогиба каната и сноса лота течением.

При больших глубинах и скоростях течения более 1 м/с для измерения глубин используется рыбалот. Он состоит из металлического груза обтекаемой рыбовидной формы массой до 30 кг и стального маркированного троса. При измерении глубины груз опускается на дно и в момент касания считывается значение глубины по тросу или по счетчику, установленному на лебедке. Затем груз немного приподнимается и поддерживается в подвешенном состоянии до следующей промерной точки.

Эхолот основан на использовании гидроакустического способа измерения глубин. Сущность измерения заключается в определении времени прохождения ультразвукового сигнала от источника излучения до дна водоема и обратно к приемнику ([рис. 12.1](#)).

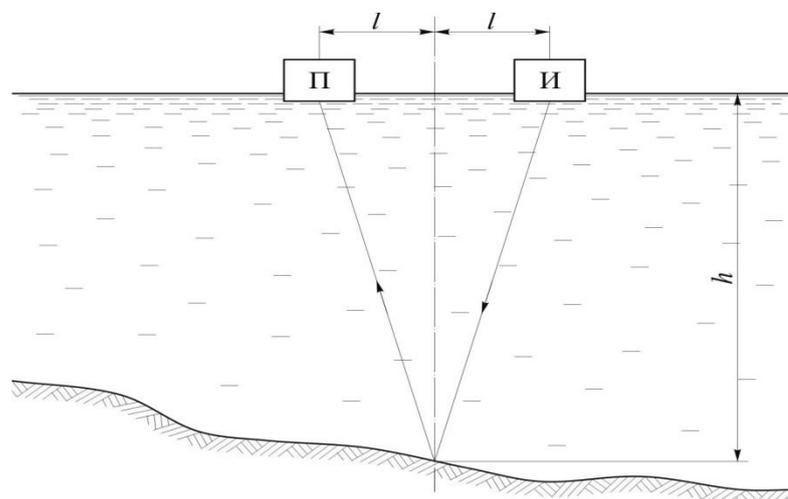


Рис. 12.1. Схема измерения глубин эхолотом: *И* – излучатель; *П* – приемник ультразвуковых сигналов

Ультразвуковой сигнал излучается в виде узкого направленного пучка и способен отражаться от твердых поверхностей. Таким образом, зная расстояние между излучателем и приемником и скорость распространения ультразвука в воде, измеряемая глубина может быть найдена по формуле

$$h = \sqrt{(C \cdot t / 2)^2 - l^2} \quad (12.1)$$

где: C – скорость распространения ультразвука в воде;

t – время прохождения сигнала от излучателя до приемника;

l – база прибора – половина расстояния от излучателя до приемника.

Конструкция эхолотов одного типа позволяет непрерывно измерять глубины по ходу движения промерного судна и автоматически записывать их в масштабе на бумажную ленту – *эхограмму*. На эхограмме специальными оперативными отметками указываются глубины, измеряемые в момент координирования планового положения промерного судна. В современных эхолотах другого типа измеряемые глубины представляются на индикаторе в цифровом виде, а их хранение обеспечивается на различного рода магнитных носителях. Точность измерения глубин эхолотом в диапазоне $0.2-20$ м составляет $0.05-0.1$ м.

Другим распространенным методом измерения глубины реки является использование гидролокаторов. Гидролокаторы работают на основе принципов эхолокации и радиолокации, отправляя в воду высокочастотные звуковые и электромагнитные сигналы. По времени задержки их отражения от дна реки можно вычислить глубину. Гидролокаторы, в отличие от эхолотов, позволяют измерять не только глубину, но и скорость течения, температуру воды и другие параметры. Это делает их весьма полезными для гидрологических исследований и мониторинга состояния реки. Кроме того, гидролокаторы могут быть установлены на судах и мобильных платформах, что позволяет производить измерения в различных точках реки и реагировать на изменения глубины в реальном времени.

Одним из наиболее современных и точных методов измерения глубины реки является лидар. Специальные лазерные приборы сканируют речное дно и регистрируют время, за которое отраженный лазерный луч возвращается обратно. Эта информация позволяет создать точную карту рельефа дна реки и определить ее глубину с большой точностью.

На полевой практике для измерения глубин осуществляется лотовым способом и с использования эхолота.

Для определения площади живого сечения потока рек, их глубины измеряются на промерных вертикалях створов, количество которых определяется протяженностью створов и гипсометрическими профилями днищ рек в створах ([рис. 12.2](#)).

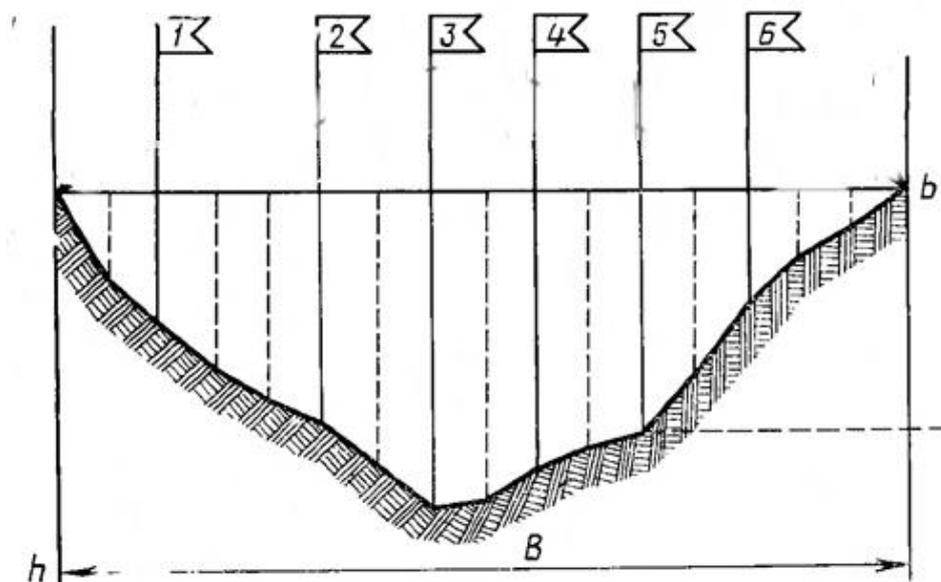


Рис. 12.2 - Профиль живого сечения реки.

Измеренные глубины по створам записываются в таблицу ([таблица 12.1](#)).

Таблица 12.1 Журнал измерения глубин по гидрометрическим створам

№ п.п.	Расстояние между вертикалями l , м	Глубины по вертикали h , м	Площадь сечения S_i , m^2	Примечания
1				
...				
i				
i+1				
...				
n				
Σ	-	-		

Площадь живого сечения реки (W) находят по формуле :

$$W = \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} * l_i \right) \quad (12.2)$$

На полигоне практик Веневитиново измерение глубин р. Усмань проводится на прямолинейном участке реки, на закрепленном реперами створе ([рис. 12.3](#)).



Рис. 12.3 Промеры глубин на гидрометрическом створе.

Измерение скорости потока поверхностных водотоков

Существуют различные методы определения скорости течения воды, которые могут быть использованы при гидрометрических работах.

Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела. Для измерения скорости используется различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину. Скорость течения принимается равной скорости движения поплавка, которая определяется по времени прохождения поплавком определенного расстояния. Отсюда видно, что при поплавоочных измерениях получаем значение скорости, осредненное для участка потока по траектории движения поплавка.

Метод, основанный на регистрации скоростного напора. Для измерения скорости используются гидрометрические трубки различной конструкции, прообразом которых является трубка Пито (1732 г.). Скорость определяется в зависимости от скоростного напора, для этого трубка вводится в поток отверстием навстречу течению. Скоростной напор измеряется непосредственно по высоте подъема уровня в трубке. Гидрометрические трубки дают местную скорость в отдельных точках потока.

Метод, основанный на регистрации силового воздействия потока. Для измерения скорости используются приборы, в которых имеется чувствительный элемент, воспринимающий силовое воздействие потока. В настоящее время подобные приборы применяются главным образом для научно-исследовательских работ с целью измерения и непрерывной записи значений скоростей в отдельных точках потока. Они позволяют исследовать пульсацию скоростей.

Метод, основанный на принципе теплообмена. Для измерения скорости используются приборы, имеющие в качестве рабочего органа нагретый элемент, вводимый в поток. Скорость течения определяется в зависимости от быстроты охлаждения чувствительного элемента: чем больше скорость, тем выше темп охлаждения. Подобные приборы применяются для научных

исследований, главным образом в лабораторных условиях; с их помощью измеряют скорости, обычно с непрерывной записью.

Методы, основанные на измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдения. В поток вводится прибор – батометр, входным отверстием навстречу течению, и выдерживаются определенное время, после чего вынимается; измеряется объем воды, вошедшей в прибор. Скорость определяется по тарировочному графику в зависимости от объема воды, вошедшей за единицу времени. Этот способ почти вышел из употребления.

Метод, основанный на применении ультразвука. При распространении ультразвуковых колебаний в движущей среде, в частности в воде, скорость ультразвука относительно неподвижной системы координат равна векторной сумме скорости звука и скорости самой среды. Ультразвуковой метод применяется в настоящее время для измерения в закрытых трубопроводах расходов различных жидкостей, в том числе загрязненных, агрессивных и кристаллизующихся. В гидрометрии он пока широко не применяется, но в настоящее время в нашей стране и за рубежом проводятся исследования и разрабатываются ультразвуковые приборы для измерения скорости течения и расходов воды, как в лабораторных лодках, так и в реках.

В настоящее время при гидрометрических работах на реках, водохранилищах, каналах измерение скоростей течения проводится с помощью гидрометрических вертушек или, в последнее время, с использованием приборов на основе эффекта Доплера (лазерные, радиолокационные).

На учебной полевой практике измерение скорости реки производится с помощью гидрометрической вертушки.

При измерении скорости гидрометрической вертушкой, регистрируется общее число оборотов лопастного винта и продолжительность измерения. Величина скорости определяется по тарировочному графику в зависимости от числа оборотов в секунду. Посредством гидрометрической вер-

тушки обычно определяется местная скорость течения в отдельных точках потока, хотя вертушки применяются и для интеграционного определения средней скорости на вертикали или, например, средней поверхностной скорости потока.

При измерении скоростей выполняются следующие работы:

- 1) производится промер глубин на гидрометрическом створе;
- 2) выделение скоростных вертикалей;
- 3) вычисление рабочей глубины на вертикали и расчет глубин погружения вертушки для измерения скоростей;
- 4) измерение скорости течения.

Рабочей глубиной на вертикали называется глубина от поверхности до дна.

Расположение точек на вертикали при измерении скоростей течения показано на рис 12.4.

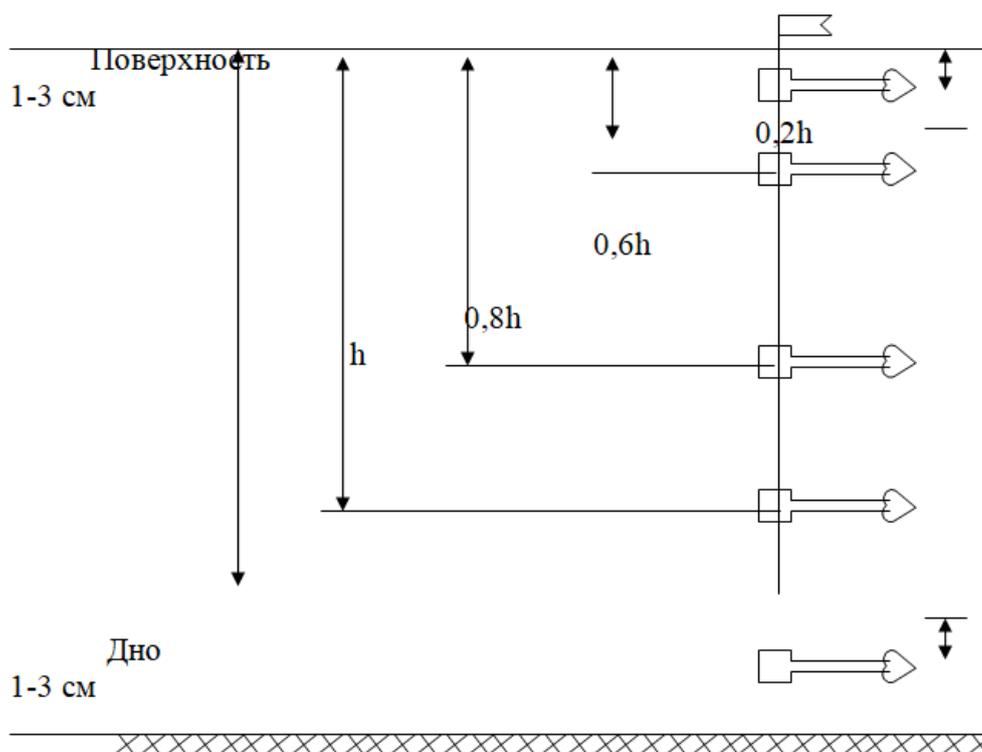


Рис.12.4. Расположение скоростных вертикалей

При детальном способе измерения расхода и при свободном от ледяного покрова и водной растительности русле принято измерять скорости в пяти точках на вертикали, располагая их как показано на [рис. 12.4](#). При ледяном покрове или водной растительности добавляется точка на глубине $0,4h$. Как показал большой практический опыт, а также теоретические данные, принятое расположение точек измерения скоростей на вертикалях хорошо характеризует форму профиля скоростей, что позволяет с достаточной точностью определить среднюю скорость на вертикали.

При основном способе измерения расхода, помимо сокращения числа вертикалей, уменьшается и число точек измерения скоростей на вертикали. При свободном от льда и водной растительности русле скорости измеряются в двух точках на вертикали: $0,2$ и $0,8$ рабочей глубины, при малых глубинах измерения проводятся в одной точке – $0,6$ рабочей глубины.

При вычислении расходов воды применяются следующие способы:

- 1) аналитический;
- 2) графический.

Наиболее употребителен аналитический способ. Он характеризуется относительной простотой вычислений и меньшей затратой времени. В практике работ гидрологической службы аналитический способ вычисления измеренных расходов принят как основной.

Расход воды вычисляется по приближенной формуле (12.3):

$$Q = KV_1\omega_0 + [(V_1 + V_2)/2] \omega_1 + \dots + [(V_{n-1} + V_n)/2] \omega_{n-1} + KV_n \omega_n, \quad (12.3)$$

Где V_1, V_2, \dots, V_n – средние скорости на вертикалях;

ω_0 – площадь живого сечения между берегом и первой скоростной вертикалью;

ω_1 – площадь живого сечения между первой и второй вертикалями;

ω_n – площадь живого сечения между последней скоростной вертикалью и берегом;

К – эмпирический коэффициент, значение которого для различных случаев принимается следующим:

Пологий берег с нулевой глубиной на урезе.....	0,7
Обрывистый берег или неровная стенка.....	0,8
Гладкая стенка.....	0,9
Наличие мертвого пространства.....	0,5

В приведенной формуле каждое слагаемое представляет собой частичный расход воды:

первое слагаемое – частичный расход между берегом и первой скоростной вертикалью;

второе слагаемое – частичный расход между первой и второй вертикалями и т.д.

Каждый частичный расход вычисляется путем умножения средней скорости на соответствующий участок площади живого сечения. Таким образом, для вычисления расхода необходимо определить средние скорости на каждой скоростной вертикали и частичные площади живого сечения.

Среднюю скорость на вертикали находят по эмпирическим формулам, подставляя в них скорости, измеренные в отдельных точках вертикали. В зависимости от числа точек и от состояния русла средняя скорость определяется по одной из следующих формул, в случае определения расхода в открытом русле, не заросшем растительностью:

- при измерении скорости в пяти точках на вертикали

$$V_{\text{в}}=0,1(U_{\text{пов}}+3U_{0,2}+3U_{0,6}+3U_{0,8}+U_{\text{дон}}) \quad (12.4)$$

- при измерении скорости в трех точках на вертикали

$$V_{\text{в}}=0,25(U_{0,2}+2U_{0,6}+U_{0,8}) \quad (12.5)$$

- при измерении скорости в двух точках на вертикали

$$V_{\text{в}}=0,5(U_{0,2}+U_{0,8}) \quad (12.6)$$

- при измерении скорости на одной вертикали

$$V_B = U_{0,6} \quad (12.7)$$

Частичные площади живого сечения определяются с учетом глубин на скоростных и промерных вертикалях (Рис 12.5). Например, частичная площадь живого сечения между берегом и первой скоростной вертикалью:

$$\omega_0 = 0,5h_1b_0 + 0,5(h_1+h_2)b_1 \quad (12.7)$$

частичная площадь живого сечения между первой и второй скоростными вертикалями:

$$\omega_0 = 0,5(h_2+h_3)b_2 + 0,5(h_3+h_4)b_3 + 0,5(h_4+h_5)b_4 \quad (12.8)$$

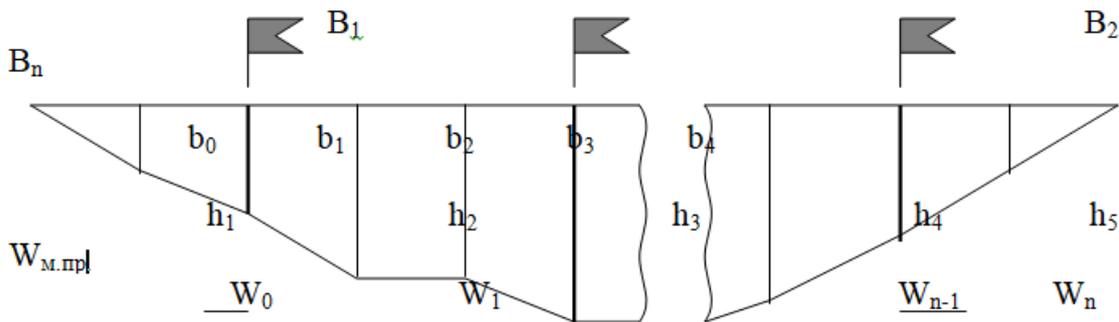


Рис.12.5. Схема к вычислению частичных площадей живого сечения

Расход потока поверхностных вод использовать для ориентировочной оценки естественных ресурсов подземных вод в пределах водосборной площади, расположенной выше расчетного створа. Количественным показателем естественных ресурсов подземных вод является модуль подземного стока.

Модуль стока – объем воды, стекающий с определенной площади бассейна за единицу времени, измеряется в $м^3/с$ ($с/км^2$). Находится как отношение минимального расхода воды (Q_{min}), $м^3/с$ к площади водосбора (F), $км^2$.

$$M = Q_{min} / F \quad (12.10)$$

Если за промежуток времени, в течение которого поверхностная вода может добежать от границы водосбора до створа, где измеряется расход, не было атмосферных осадков, то можно приближенно считать, что расход в

реке формируется за счет подземного стока в результате дренирования подземных вод рекой и выходов подземных вод в виде родников.

При гидрологических исследованиях подземного стока измерения проводят в меженьный период, в расчете используют результаты многолетних наблюдений (6 лет и более), либо используют данные многолетних наблюдений на гидропостах-аналогах Росгидромета. Соответственно, полученные студентами результаты определения модуля стока действительны только на период проведения измерений.

Камеральная обработка материалов наблюдений

Во время *полевой (текущей) камеральной обработки материалов* работ студенты: 1) строят профиль живого сечения реки по гидрометрическому створу; 2) рассчитывают скорость течения, расход воды в реке Усмань.

1. Профили живого сечения реки строятся с помощью электронной таблицы Excel. Журналы измерения глубин по гидрометрическим створам заполняются в Excel (табл. 12.1) и по этим данным строится точечный график (точки соединенные линиями): по оси ординат – глубины (ось в обратном порядке значений), по оси абсцисс – расстояния между измерениями глубин (рис. 12.1). Площадь живого сечения реки находится в Excel по формуле (12.2).

2. В Excel заполняется журнал измерения скорости потока реки, вычисляются: средняя скорость потока и поверхностный расход воды (12.3).

Журналы, заполненные в электронной таблице Excel, с построенными графиками сохраняются в отдельных файлах и будут приложены к электронному варианту отчета о практике.

Мобильный интернет на базе практик относительно медленный, поэтому расчет модуля подземного стока проводится при окончательной камеральной обработке, в компьютерном классе.

Площадь водосборной поверхности р. Усмань определяется в навигационной программе *SAS.Планета* с использованием крупномасштабных картографических покрытий (ГГЦ). Модуль стока с водосборной поверхности реки рассчитывается по формуле (12.10). Дополнительно определяется длина водотока реки, рассчитывается время добегания от истока до створа и по данным о количестве осадков (<https://www.gismeteo.ru>) за это время оценивается точность определения модуля подземного стока реки Усмань.

Таблицы измерения площади расчетных створов, определения скорости потока, профиля живого тока и русла р. Усмань и результаты расчетов расходов и модуля стока включаются в соответствующую главу отчета о практике.

13. Полевые гидрохимические исследования

В период прохождения учебной практики студенты отбирают пробы поверхностных и подземных вод. Для проведения гидрохимических исследований они используют полевую лабораторию анализа воды НКВ-1 ([рис.13.1](#)).



Рис. 13.1 Полевая лаборатория анализа воды НКВ-1.

Она предназначена для контроля питьевой и природной воды по важнейшим показателям качества. Лаборатория позволяет выполнять анализ воды, общая минерализация которой не превышает 3 г/дм^3 (питьевой и минеральной воды, воды водоёмов хозяйственно-бытового, рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения), а также очищенных сточных вод, морской и грунтовой воды, и почвенных вытяжек по отдельным показателям [36].

На данной лаборатории можно провести химический анализ в различных условиях:

- в полевых (внелабораторных) условиях – непосредственно у водисточника;
- в лабораторных условиях – в дополнение к материальному оснащению лаборатории или при его отсутствии.

Показатели химического состава воды определяются непосредственно в отобранных пробах различными методами: органолептическим, визуальным, колориметрическим, титриметрическим и расчетным.

Органолептический и визуальный методы

Органолептическая и визуальная оценка качества воды – обязательная начальная процедура контроля воды. Данные методы используются при определении таких показателей, как запах, вкус, цвет (цветность), мутность и прозрачность. При этом человек, выполняющий анализ, должен уметь корректно определять указанные показатели, используя собственные вкусовые ощущения, обоняние и зрение. При определении цвета и мутности следует обеспечить освещение, достаточное по его характеру, интенсивности и направленности. При определении запаха влияющими факторами являются температура пробы и движение воздуха (наличие ветра).

Колориметрический метод

Колориметрическим называется такой метод анализа, при котором анализируемый компонент при помощи химической реакции переводится в окрашенное соединение, после чего окраска раствора сравнивается визуально с образцами окраски пленочной контрольной шкалы. Интенсивность окраски является мерой концентрации анализируемого вещества.

При выполнении анализа визуально-колориметрическим методом определение обычно проводится в пробирках и мерных склянках с метками. Окраску раствора–пробы наблюдают сверху вниз через открытую склянку или пробирку на белом фоне при достаточном освещении. За результат анализа принимают ближайший по характеру окраски образец шкалы. На каждой шкале обозначены цифры, соответствующие количеству определяемых ионов в мг/дм³ и абсолютному значению рН.

Когда интенсивность окраски раствора находится между двумя соседними эталонами, берут среднее значение. Если окраска раствора – пробы

окажется интенсивнее крайнего образца на шкале с максимальной концентрацией, проводят разбавление пробы дистиллированной водой. После повторного колориметрирования вводят поправочный коэффициент, равный кратности степени разбавления воды.

Колориметрическим методом определяют величину концентрации ионов водорода (pH), иона-аммония (NH_4^+), нитрит-иона (NO_2^-), нитрат-иона (NO_3^-), железа общего ($\text{Fe}_{\text{общ.}}$).

Титриметрические методы

Сущность титриметрического метода анализа заключается в измерении объема реактива (титранта), требующегося для взаимодействия с анализируемым веществом до точки эквивалентности. Точку эквивалентности определяют, вводя в раствор подходящий индикатор и наблюдая за изменением окраски.

Титриметрический метод делится на: объёмный и объёмно-капельный.

При объёмном методе титрование ведётся из бюретки, объём израсходованного реактива учитывается по количеству мл. Определение производится в больших объемах, в конических колбах (100-200 мл). Данный метод больше подходит к лабораторным условиям.

При объёмно-капельном методе анализа титрование ведётся из капельниц или полимерных пипеток ([рис. 13.2](#)).



Рис. 13.2 Полимерная пипетка.

Объём израсходованного реактива учитывается по количеству капель, идущих на титрование. Определение производится в небольших объемах

воды в пробирках объёмом 10-20 мл ([рис.13.3](#)) и мерных склянках с метками ([рис.13.4](#)).



Рис. 13.3 Пробирка.



Рис. 13.4 Мерная склянка с метками и пробкой.

Данный метод подходит как к лабораторным, так и полевым условиям. Полевая лаборатория НКВ-1 позволяет определить данным методом следующие показатели: общую жесткость (Ж), гидрокарбонат-ион (HCO_3^-), хлорид-ион (Cl^-), сульфат-ион (SO_4^{2-}), ион-кальция (Ca^{2+}).

Для обеспечения правильных результатов объемно-капельных определений необходимо:

1. Точно определить титр капли применяемых титрованных растворов.

Для установления титра капли титранта в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из капельницы или полимерной пипетки испытуемый раствор, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.



Рис. 13.5 Пробирка, имеющая метку 5 мл.

Титр капли титрованного раствора (Т) вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{a}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность применяемого титрованного раствора;

Э – эквивалентный вес определяемого вещества;

a – количество капель, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. Точно отмерять объём воды, отбираемой на определение;

3. Прибавлять титрованный раствор по каплям при постоянном перемешивании исследуемого раствора, соблюдая следующие требования:

а) носик пипетки держать по возможности строго вертикально по отношению к пробирке или склянке с титруемой жидкостью;

б) выпускать из пипетки не более одной капли в 2-3 сек;

в) не прикасаться кончиком пипетки к стенкам пробирки или склянки.

4. Внимательно следить за изменением цвета титруемого раствора, не допуская прибавления излишка реактива, считая при этом капли.

Расчет содержания определяемого вещества производится по формуле:

$$C = n \cdot T \cdot 100, \text{ где}$$

T - титр капли титрованного раствора;

n – количество капель титрованного раствора.

Расчётные методы

Расчётными методами оцениваются значения отдельных показателей на основе результатов определений, выполненных экспериментально. К таким показателям относятся: магний (Mg^{2+}), сумма натрия и калия ($Na^+ + K^+$), общая минерализация (М).

Для точного определения качества воды, нельзя забывать о правилах подготовки воды к анализу, а также о рабочих условиях проведения химического анализа.

Подготовка проб воды

Фильтрация проб воды является важной операцией, часто выполняемой при химическом анализе. Эта операция выполняется в случае, если проба выглядит мутной, имеющей взвешенные частицы. При фильтрации для эффективного отделения растворенных форм компонента раствора от взвешенных следует использовать фильтр размером пор около 0,45 мкм.

Рабочие условия

Определение химического состава водоисточников с использованием полевой лаборатории НКВ-1 рекомендуется выполнять при следующих рабочих условиях:

1. температура анализируемой пробы – от +10 до +35°C;
2. температура и относительная влажность атмосферного воздуха, а также атмосферное давление – не регламентируется.

Внимание: Однако надо иметь в виду, что при понижении температуры следует ожидать некоторое замедление завершения реакции, а при повышении – её ускорение.

Процедура проведения анализа воды

Определение запаха

По происхождению различают природные или естественные запахи и запахи искусственного происхождения. Естественные запахи могут быть

приданы воде живущими и отмершими организмами, почвами, водной растительностью, присутствующими в воде растворёнными газами, например, болотный, сероводородный, землистый, рыбный и т.п. Запахи искусственного происхождения называют по веществам, ассоциации с которыми он вызывает, например, уксусный, бензиновый (от нефтепродуктов), хлорный и т.п. Запах оценивается органолептическим методом.

Интенсивность запаха оценивают по 5-бальной шкале оценки запаха ([таблица 13.1](#)).

Таблица 13.1 Характер и интенсивность запаха

Балл оценки интенсивности запаха	Интенсивность запаха	Характер проявления запаха
0	Нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабая	Запах сразу не ощущается, но обнаруживается при нагревании воды
2	Слабая	Запах обнаруживаемый, если на него обратить внимание потребителя
3	Заметная	Запах, который легко обнаруживается и может вызывать неодобрительную оценку воды
4	Отчётливая	Запах, обращающий на себя внимание и заставляющий воздержаться от употребления
5	Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению

Оборудование:

- колба (200 мл), термометр 20-60°C.

Ход определения:

1. Рекомендуемая температура исследуемой воды для определения запаха – 20°C. Доведите воду до данной температуры используя холодную или горячую воду, и термометр.
2. Наполните колбу водой на 1/3 объема, закройте ее пробкой, взболтайте содержимое колбы вращательным движением руки.
3. Откройте колбу и сразу же определите характер и интенсивность запаха, вдыхая воздух носом, не допуская глубоких вдохов.

4. Если запах сразу не ощущается или возникают затруднения с его обнаружением, испытание повторите, нагрев воду до другой рекомендуемой температуры – 60°C.

Определение вкуса

Вкус вызывается наличием в воде растворенных веществ. Он может быть четырёх видов: солёный, кислый, горький, сладкий. Остальные вкусовые ощущения считаются привкусами: солоноватый, горьковатый, кисловатый, сладковатый, металлический, хлорный и т.п. Вкус оценивается органолептическим методом.

Интенсивность вкуса и привкуса оценивают по 5-балльной шкале, приведенной в [таблице 13.2](#).

Таблица 13.2 Характер и интенсивность вкуса и привкуса

Интенсивность вкуса и привкуса	Характер проявления вкуса и привкуса	Балл интенсивности вкуса и привкуса
Нет	Вкус и привкус не ощущаются	0
Очень слабая	Вкус и привкус сразу не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при тщательном тестировании	1
Слабая	Вкус и привкус замечаются, если обратить на это внимание	2
Заметная	Вкус и привкус легко замечаются и вызывают неодобрительный отзыв о качестве воды	3
Отчетливая	Вкус и привкус обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от употребления	4
Очень сильная	Вкус и привкус настолько сильные, что делают воду непригодной к употреблению	5

Ход определения:

Вкус воды определяют при условии отсутствия подозрений на ее загрязненность. При определении вкуса воду набирают в рот небольшими

порциями и задерживают её во рту на 3–5 сек, не проглатывая. После определения вкуса воду сплевывают.

Определение цветности

Цветность – естественное свойство природной воды, обусловленное присутствием гуминовых веществ и комплексных соединений железа. Определение цветности производят только в прозрачной воде. Если же вода не прозрачна, ее фильтруют. Цветность определяют визуальным методом.

Оборудование:

- пробирка высотой 10-12 см, компаратор-мутномер.

Ход определения:

В пробирку налейте исследуемую воду доверху и поставьте в компаратор-мутномер. Рассматривайте на белом фоне и делайте визуальную оценку цветности в соответствии с [таблицей 13.3](#).

Таблица 13.3 Визуальная оценка цветности

Слабо-желтоватая	Коричневатая
Светло-желтоватая	Красно-коричневатая
Желтая	Другая (укажите какая)
Интенсивно-желтая	

Определение прозрачности

Прозрачность, или светопропускание воды обусловлена ее цветом и мутностью, т.е. содержанием в ней различных окрашенных и минеральных веществ. Прозрачность измеряется как высота столба воды, при взгляде сквозь который можно различать узнаваемый знак (отверстия на диске, стандартный шрифт, крестообразная метка и т.п.).

Оборудование:

- ламинированный образец шрифта (высота 3,5 мм, ширина линии 0,35 мм), пипетка для отбора воды, стеклянная трубка для определения прозрачности (длина 600 мм; диаметр 25 мм), световодонепроницаемый экран для трубки, шприц с соединительной трубкой.

Ход определения:

1. Поместите образец шрифта на горизонтальную поверхность. Установите трубку в вертикальном положении.

2. Наденьте на трубку экран. Приподнимите экран снизу на 1-2 см. Установите четкую видимость шрифта сквозь водяной столб, наблюдая сверху через трубку.

3. Перемешайте тщательно пробу воды и заполните ее трубку до уровня 60 см.

4. Понижайте уровень водяного столба, постепенно отбирая воду трубкой со шприцом-дозатором до тех пор, пока не станет видимым (читаемым) шрифт на образце.

5. Снимите экран с трубки.

6. Определите по делениям на трубке значение прозрачности, как высоту водяного столба с точностью до 1 см.

Определение нитрат-иона (NO_3^-)

Определение нитрат-иона (NO_3^-) проводится визуально-колориметрическим методом.

Оборудование и реактивы:

- ложка мерная ([рис.13.6](#)), градуированная полимерная пробирка с крышкой ([рис. 13.7](#)), склянка с метками и пробкой ([рис.13.4](#));

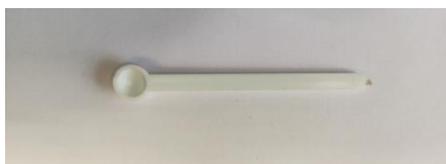


Рис. 13.6 Ложка мерная.



Рис. 13.7 Градуированная полимерная пробирка с крышкой.

- дистиллированная вода, реактив Грисса, порошок цинкового восстановителя;
- контрольная шкала образцов окраски растворов для определения нитрат-иона ([рис. 13.8](#)).



Рис. 13.8 Контрольная шкала образцов окраски растворов

Внимание: При определении любого показателя перед анализом необходимо тщательно вымыть химическую посуду и ополоснуть её несколько раз исследуемой водой.

Ход определения:

1. В градуированную полимерную пробирку налейте 3 мл исследуемой воды. Доведите объем дистиллированной водой до 12 мл, закройте пробкой и перемешайте.
2. Добавьте в воду 1 мерную ложку (без горки) реактива Грисса, излишки реактива снимите с ложки другой мерной ложкой. Закройте пробирку пробкой и перемешайте раствор в пробирке встряхиванием до растворения.
3. Добавьте в воду 1 мерную ложку (без горки) порошка цинкового восстановителя. Закройте пробирку пробкой и тщательно перемешайте.
4. Оставьте пробирку со смесью на 30 минут для завершения реакции, периодически встряхивая содержимое пробирки.
5. Через 30 минут перелейте раствор из пробирки в склянку до метки 10 мл.

6. Проведите визуальное определение нитрат-иона, наблюдая сверху через открытое отверстие склянки, сравнивая с контрольной шкалой ([рис.13.8](#)). Содержание нитрат-иона получаем в мг/л или мг/дм³.

Если интенсивность окраски преобладает 90 мг/дм³, то пробу разбавляют дистиллированной водой, и определение повторяют, но результат увеличивают на величину разбавления.

Определение иона аммония (NH_4^+)

Определение иона аммония (NH_4^+) проводится визуально-колориметрическим методом.

Оборудование и реактивы:

- полимерная пипетка ([рис.13.2](#)), ложка мерная ([рис.13.6](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#)), штатив для пробирок.
- реактив Несслера, сегнетова соль;
- контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения иона аммония ([рис.13.9](#)).



Рис. 13.9 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения иона аммония

Ход определения:

1. В пробирку налейте анализируемую воду до метки «5 мл».
2. Добавьте в воду мерной ложкой 0,01г (несколько кристаллов) сегнетовой соли и туда же полимерной пипеткой - 8-10 капель (около 0,25 мл) реактива Несслера. Содержание пробирки перемешайте встряхиванием.
3. Оставьте смесь на 2 минуты для завершения реакции.

4. Через 2 мин проведите визуальное определение иона аммония, наблюдая сверху через открытое отверстие пробирки на белом фоне при достаточном освещении, сравнивая с контрольной шкалой ([рис.13.9](#)). Содержание иона аммония получаем в мг/л или мг/дм³.

Определение нитрит-иона (NO_2^-)

Определение нитрит-иона (NO_2^-) проводится визуально-колориметрическим методом. Ввиду биогенной активности нитритов в воде, отобранные пробы без консервации должны быть проанализированы в течение двух часов.

Оборудование и реактивы:

- пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#)), штатив для пробирок;
- реактив Грисса (в капсулах);
- контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения нитрит-иона ([рис. 13.10](#)).

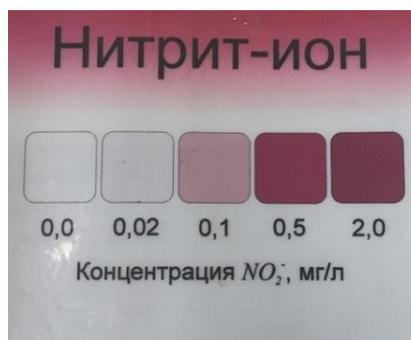


Рис. 13.10 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов

Ход определения:

1. В пробирку налейте анализируемую воду до метки «5 мл».
2. Добавьте в воду содержимое одной капсулы реактива Грисса и перемешайте раствор в пробирке встряхиванием до растворения кристаллов реактива.
3. Оставьте смесь на 20 минут для завершения реакции.

4. Через 20 мин проведите визуальное определение нитрит-иона, наблюдая сверху через открытое отверстие пробирки на белом фоне при достаточном освещении, сравнивая с контрольной шкалой ([рис.13.10](#)). Содержание нитрит-иона получаем в мг/л или мг/дм³.

Определение водородного показателя (pH)

Определение водородного показателя (pH) проводится визуально-колориметрическим методом.

Оборудование и реактивы:

- пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#)), полимерная пипетка ([рис.13.2](#));
- раствор индикатора универсального;
- контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения pH ([рис. 13.11](#)).



Рис. 13.11 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов

Ход определения:

1. В пробирку налейте анализируемую воду до метки «5 мл».
2. Добавьте полимерной пипеткой 3 капли (около 0,1 мл) раствора универсального индикатора и встряхните пробирку.
3. Сразу же проведите визуальное определение водородного показателя, наблюдая сверху через открытое отверстие пробирки на белом фоне при достаточном освещении, сравнивая с контрольной шкалой ([рис.13.11](#)).

Определение железа общего ($Fe_{общ.}$)

Определение железа общего ($Fe_{\text{общ.}}$) проводится визуально-колориметрическим методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), шприц;

- бумага индикаторная универсальная, раствор буферный ацетатный №1, раствор орто-фенантролина солянокислого, раствор соляной кислоты №1 (1:10), раствор солянокислого гидроксилamina, раствор гидроксида натрия (1 моль/л);

- эталонная шкала рН ([рис. 13.12](#));



Рис. 13.12 Эталонная шкала рН.

- контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения железа общего ([рис. 13.13](#)).



Рис. 13.13 Контрольная цветовая шкала образцов окраски растворов для определения железа общего

Ход определения:

1. В склянку с метками налейте пробу анализируемой воды до метки «10 мл».

2. Киньте в склянку небольшой кусочек индикаторной бумаги. Используя эталонную шкалу рН ([рис. 13.12](#)) исследуемую воду нужно довести до рН 4-5 добавляя:

а) для уменьшения рН добавляйте по одной капле полимерной пипеткой раствор соляной кислоты №1 (1:10), постоянно перемешивая содержимое;

б) для увеличения рН добавляйте по одной капле полимерной пипеткой раствор гидроксида натрия (1 моль/л), постоянно перемешивая содержимое;

в) если рН исследуемой воды в пределах 4-5, то добавлять ничего не надо.

3. После доведения исследуемого раствора до рН 4-5, вытащите стеклянной палочкой индикаторную бумажку и добавьте в воду полимерной пипеткой 4-5 капель (0,2 мл) раствора солянокислого гидроксиламина. Закройте склянку пробкой и перемешайте раствор встряхиванием.

4. Добавьте в воду разными шприцами поочередно 1,0 мл раствора буферного ацетатного №1 и 0,5 мл раствора орто-фенантролина солянокислого. После каждого прибавления склянку закрывайте пробкой и перемешайте раствор встряхиванием.

5. Оставьте смесь на 20 минут для завершения реакции.

6. Через 20 мин проведите визуальное определение железа общего, наблюдая сверху через открытое отверстие склянки, на белом фоне при достаточном освещении, сравнивая с контрольной шкалой ([рис.13.13](#)). Содержание железа общего получаем в мг/л или мг/дм³.

Определение гидрокарбонат-иона (HCO_3^-)

Определение гидрокарбонат-иона (HCO_3^-) проводится титриметрическим (объёмно-капельным) методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#)), пробирка 10-20 мл ([рис.13.3](#));

- раствор смешанного индикатора, раствор титранта - соляной кислоты (0,05 моль/л).

Ход определения:

1. Определить титр капли соляной кислоты (HCl). Для установления титра капли соляной кислоты в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из полимерной пипетки соляную кислоту, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.

Титр капли соляной кислоты (Т (HCl)) вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T(\text{HCl}) = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{\alpha}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность соляной кислоты (0,05 моль/л);

Э – эквивалентный вес гидрокарбонат-иона (61,1);

α – количество капель соляной кислоты, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. В склянку с метками или пробирку налейте до метки (10 мл) анализируемую воду и добавьте полимерной пипеткой 2-3 капли раствора смешанного индикатора, перемешайте.

3. Титруйте исследуемую пробу соляной кислотой, добавляя по каплям из полимерной пипетки, ведя их счёт, постоянно взбалтывая до перехода окраски из сине-зелёной в серую.

4. Содержание гидрокарбонат-иона (HCO_3^-) в мг/л или мг/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{HCO}_3^-) = n \cdot T(\text{HCl}) \cdot 100, \text{ где}$$

$T(\text{HCl})$ - титр капли соляной кислоты;

n – количество капель соляной кислоты пошедшее на переход цвета из сине-зелёной в серую окраску.

Определение хлорид-иона (Cl^-)

Определение хлорид-иона (Cl^-) проводится титриметрическим (объёмно-капельным) методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), пробирка 10-20 мл ([рис.13.3](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#));

- раствор нитрата серебра (0,05 моль/л), раствор хромата калия.

Ход определения:

1. Определить титр капли нитрата серебра (AgNO_3). Для установления титра капли нитрата серебра в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из полимерной пипетки нитрат серебра, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.

Титр капли нитрата серебра (AgNO_3) вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T(\text{AgNO}_3) = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{a}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность нитрата серебра (0,05 моль/л);

Э – эквивалентный вес хлорид-иона (35,46);

α – количество капель нитрата серебра, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. В склянку с метками или пробирку налейте до метки (10 мл) анализируемую воду и добавьте полимерной пипеткой 3 капли раствора хромата калия, перемешайте.

3. Титруйте исследуемую пробу нитратом серебра, добавляя по каплям из полимерной пипетки, ведя их счёт, постоянно взбалтывая до перехода раствора в исчезающую оранжево-бурую окраску.

4. Содержание хлорид-иона (Cl^-) в мг/л или мг/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{Cl}^-) = n \cdot T(\text{AgNO}_3) \cdot 100, \text{ где}$$

$T(\text{AgNO}_3)$ - титр капли нитрата серебра;

n – количество капель нитрата серебра пошедшее на переход раствора в исчезающую оранжево-бурую окраску.

Внимание: Если на титрование исследуемого раствора ушло более 15-20 капель нитрата серебра, то процедуру повторяют, но наливают в склянку с метками или пробирку, только 1 мл воды, соответственно, содержание хлорид-иона (Cl^-) в мг/л или мг/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{Cl}^-) = n \cdot T(\text{AgNO}_3) \cdot 1000$$

Определение общей жесткости (Ж)

Определение общей жесткости (Ж) проводится титриметрическим (объёмно-капельным) методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), пробирка 10-20 мл ([рис.13.3](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#));

- раствор буферный аммиачный, раствор индикатора хром тёмно-синего кислотного, раствор трилона Б 0,05 моль/л экв.

Ход определения:

1. Определить титр капли трилона Б. Для установления титра капли трилона Б в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из полимерной пипетки трилон Б, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.

Титр капли трилона Б вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T(\text{трилона Б}) = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{a}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность трилона Б (0,05 моль/л экв);

Э – эквивалентный вес общей жёсткости (1);

a – количество капель трилона Б, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. В склянку с метками или пробирку налейте до метки (10 мл) анализируемую воду и добавьте полимерной пипеткой 2-3 капли раствора буферного аммиачного, перемешайте.

3. Титруйте исследуемую пробу трилоном Б, добавляя по каплям из полимерной пипетки, ведя их счёт, постоянно взбалтывая до перехода цвета раствора из винно-красного в ярко-голубой.

4. Общую жесткость (Ж) в мг-экв/дм³ или ммоль/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{Ж}) = n \cdot T(\text{трилона Б}) \cdot 100, \text{ где}$$

T(трилона Б) - титр капли трилона Б;

n – количество капель трилона Б пошедшее на переход цвета раствора из винно-красного в ярко-голубой.

Внимание: если на титрование идет больше 15 капель трилона Б, испытуемую воду разбавляют в несколько раз дистиллированной водой и повторяют определение из 10 мл разбавленной воды. При вычислении результата учитывают величину разбавления.

Определение иона кальция (Ca^{2+})

Определение иона кальция (Ca^{2+}) проводится титриметрическим (объёмно-капельным) методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#)), палочка стеклянная;
- бумага индикаторная универсальная, раствор соляной кислоты №2 (1:100), раствор гидроксида натрия (1 моль/л), раствор гидроксида натрия (10 %), мурексид в капсулах, раствор трилона Б (0,05 моль/л экв).

Ход определения:

1. Определить титр капли трилона Б. Для установления титра капли трилона Б в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из полимерной пипетки трилон Б, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.

Титр капли трилона Б вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T(\text{трилона Б}) = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{a}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность трилона Б (0,05 моль/л экв);

Э – эквивалентный вес иона кальция (20,03);

a – количество капель трилона Б, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. В склянку с метками налейте пробу анализируемой воды до метки «10 мл».

3. Киньте в склянку небольшой кусочек индикаторной бумаги. Используя эталонную шкалу рН ([рис. 13.12](#)) исследуемую воду нужно довести до рН 4-5 добавляя, либо раствор соляной кислоты №2 (1:100) для уменьшения рН, либо раствор гидроксида натрия (0,1 моль/л) для увеличения рН.

4. После доведения исследуемого раствора до рН 4-5, вытащите стеклянной палочкой индикаторную бумажку и добавьте в воду полимерной пипеткой 13-14 капель (около 0,5 мл) раствора гидроксида натрия (10 %) и содержимое одной капсулы (0,02-0,03 г) индикатора мурексида. Раствор перемешайте стеклянной палочкой.

5. Титруйте исследуемую пробу трилоном Б, добавляя по каплям из полимерной пипетки, ведя их счёт, постоянно взбалтывая до перехода цвета раствора из розово-оранжевого в сине-фиолетовый.

6. Содержание иона кальция (Ca^{2+}) в мг/л или мг/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{Ca}^{2+}) = n \cdot T(\text{трилона Б}) \cdot 100, \text{ где}$$

T(трилона Б) - титр капли трилона Б;

n – количество капель трилона Б пошедшее на переход цвета раствора из розово-оранжевого в сине-фиолетовый.

Определение сульфат-иона (SO_4^{2-})

Определение сульфат-иона (SO_4^{2-}) проводится титриметрическим (объёмно-капельным) методом.

Оборудование и реактивы:

- склянка с метками и пробкой ([рис. 13.4](#)), ложка мерная ([рис. 13.6](#)), пипетка полимерная ([рис. 13.2](#)), пробирка имеющая метку 5 мл ([рис.13.5](#));

- бумага индикаторная универсальная, катионит КУ-2-8Чс, раствор гидроксида натрия (0,1 моль/л), раствор кислоты соляной (0,1 моль/л), раствор хлорида бария (0,02 моль/л экв), раствор индикатора ортанилового К в этаноле;

- контрольная шкала образцов окраски начала и окончания титрования для определения сульфат-иона ([рис. 13.14](#)).



Рис. 13.14 Контрольная шкала образцов окраски начала и окончания титрования для определения сульфат-иона

Ход определения:

1. Определить титр капли хлорида бария. Для установления титра капли хлорида бария в чистую и сухую пробирку, имеющую метку соответствующую 5 мл ([рис.13.5](#)), капают из полимерной пипетки хлорид бария, ведя счёт каплям до тех пор, пока пробирка не наполнится до метки 5 мл. Операцию повторяют, и, если расхождения в количестве капель в первом и втором случае будет небольшим (2-3 капли), берут среднее значение.

Титр капли хлорида бария (BaCl_2) вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле:

$$T(\text{BaCl}_2) = \frac{V \cdot N \cdot \text{Э}}{a}, \text{ где}$$

V – объём пробирки, 5 мл;

N – нормальность хлорида бария (0,02 моль/л экв);

Э – эквивалентный вес сульфат-иона (48,03);

α – количество капель хлорида бария, идущее на заполнение объёма 5 мл.

2. В склянку с метками налейте пробу анализируемой воды до метки «2,5 мл» и, используя мерную ложку, внесите примерно 0,2 г катионита (0,2 г катионита помещается в мерной ложке без горки). Закройте склянку пробкой. Содержимое склянки встряхивайте в течение 3 мин.

3. Киньте в склянку небольшой кусочек индикаторной бумаги. Используя эталонную шкалу рН ([рис. 13.12](#)) исследуемую воду нужно довести до рН 4 добавляя, либо раствор кислоты соляной (0,1 моль/л) для уменьшения рН, либо раствор гидроксида натрия (0,1 моль/л) для увеличения рН.

4. После доведения исследуемого раствора до рН 4-5, вытащите стеклянной палочкой индикаторную бумажку и добавьте в склянку с анализируемой водой раствор ортанилового К до метки «5 мл» и перемешайте.

5. Титруйте исследуемую пробу хлоридом бария, добавляя по каплям из полимерной пипетки, ведя их счёт, постоянно взбалтывая до появления не исчезающей голубой окраски .

6. Содержание сульфат-иона (SO_4^{2-}) в мг/л или мг/дм³ рассчитывают по формуле:

$$C(\text{SO}_4^{2-}) = n \cdot T(\text{BaCl}_2) \cdot 100, \text{ где}$$

$T(\text{BaCl}_2)$ - титр капли хлорида бария;

n – количество капель хлорида бария пошедшее до появления не исчезающей голубой окраски ([рис. 13.14](#)).

Обработка результатов химического анализа воды

Данные химического анализа воды выражаются в определенной форме и систематизируются с целью химическая классификация подземных вод, которая позволяет судить об условиях формирования солевого состава

вод и дает возможность оценивать воды с точки зрения пригодности их для практического использования.

Предлагается следующая последовательность обработки результатов химического анализа воды:

1. Пересчитать данные, характеризующие анализ воды из весовой ионной формы (мг/дм^3 или мг/дм^3) в эквивалентную (мг-экв/дм^3 или ммоль/дм^3).

2. Вычислить содержание магния в эквивалентной и весовой ионной форме, используя данные общей жесткости.

3. Вычислить содержание натрия в эквивалентной и весовой ионной форме.

4. Пересчитать содержание ионов из эквивалентной формы в процент-эквивалентную (\%-экв или \%-ммоль).

5. Классифицировать воду, принимая во внимание величину общей минерализации и ионный состав.

6. Оценить воду по степени жесткости, используя классификацию О. А. Алекина.

7. Изобразить химический состав воды формулой Курлова.

8. Оценить качество воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

1. Пересчет анализа из весовой ионной формы (мг/дм^3) в эквивалентную (ммоль/дм^3)

Весовая ионная форма выражения химического анализа воды соответствует действительному состоянию вещества в водных растворах и дает возможность аналитически определять именно ионы, а не соли или окислы. Однако эта форма не дает ясного представления о взаимосвязи отдельных ионов между собой, так как они реагируют друг с другом в эквивалентных

количествах, поэтому результаты химических анализов воды пересчитывают из весовой ионной формы в эквивалентную.

Чтобы перевести результат анализа воды из весовой ионной формы в эквивалентную, надо количество каждого найденного элемента, выраженное в мг/дм³ разделить на его эквивалентный вес. Эквивалентный вес – это атомный вес элемента, деленный на его валентность.

2. Вычисление содержания магния в эквивалентной и весовой ионной форме

Содержание Mg²⁺ в воде определяется по разности между величиной общей жесткости и содержанием Ca²⁺ в ммоль/дм³. После этого количество Mg²⁺ выраженное в ммоль/дм³ необходимо перевести в весовую ионную форму, т.е. рассчитать содержание Mg²⁺ в мг/дм³. Для этого надо полученное по разности количество ммоль/дм³ Mg²⁺ умножить на 12,2 (эквивалентный вес).

3. Вычисление содержания натрия в эквивалентной и весовой ионной форме

Эквивалентная форма дает возможность судить о правильности произведенного химического анализа или перерасчета, так как во всяком водном растворе количество эквивалентов катионов (К) равняется количеству эквивалентов анионов (А).

Учитывая это и пользуясь данными анализа, выраженными в эквивалентной форме, можно расчетным путем находить такие весьма трудоемкие для определения компоненты, как Na и К (суммарно).

Например, если исследуемая вода содержит:

ммоль/дм ³	ммоль/дм ³
HCO ₃ ⁻ - 4,31	Ca ²⁺ - 2,70
SO ₄ ²⁻ - 0,08	Mg ²⁺ - 1,80
<u>Cl⁻ - 0,80</u>	<u>(Na + K) - x</u>
Итого: 5,19 _	Итого: 4,50 + x , то

$$x(\text{Na} + \text{K}) = 5,19 - 4,50 = 0,69 \text{ ммоль/дм}^3$$

После чего вычислить содержание (Na + K) в мг/дм³ методом, указанным в пункте 2.

4. Пересчет содержание ионов из эквивалентной формы в процент-эквивалентную (%-ммоль).

Однако эквивалентная форма не дает ясного представления о доле участия каждого иона в общем количестве растворенных в воде веществ, поэтому результаты химического анализа пересчитывают из эквивалентной формы (ммоль/ дм³) в эквивалентно-процентную (ммоль%) по пропорции:

Для этого каждую из вычисленных сумм эквивалентов катионов и анионов принимают за 100 % и определяют процентное содержание каждого иона по следующей формуле:

$$X = \frac{100A(\text{или}K)}{\sum A(\text{или}K)}$$

5. Характеристика химического состава воды по величине общей минерализации и ионному составу

Классификацию подземных вод при изучении их химического состава можно проводить по величине общей минерализации (сумма растворенных в воде компонентов, найденных анализом) или сухого остатка, полученного путем выпаривания определенного объема воды. Минерализацию воды обозначают символом М и выражают в г/л или г/дм³.

По минерализации (по классификации В.И. Вернадского) воды подразделяются на четыре типа:

1 тип - пресная вода - с минерализацией до 1 г/дм³

2 тип - солоноватая вода - с минерализацией 1-10 г/дм³

3 тип - соленая вода – с минерализацией 10 – 50 г/дм³

4 тип - рассолы – с минерализацией более 50 г/дм³

При наименовании химического состава воды учитывают анионы и катионы, содержание которых составляет более 20 %-ммоль, а перечисление ионов производят в порядке возрастания концентраций компонентов.

Например, для воды, имеющей следующий состав:

%-ммоль	%-ммоль
HCO_3^- - 83	Ca^{2+} - 52
SO_4^{2-} - 2	Mg^{2+} - 35
<u>Cl^- - 15</u>	<u>Na^+ - 13</u>
$\Sigma = 100$ %-ммоль	$\Sigma = 100$ %-ммоль

Тип воды - гидрокарбонатный магниевый-кальциевый.

6. Характеристика химического состава воды по степени жесткости (по классификации О.А. Алекина)

По классификации О.А. Алекина по жесткости различают пять типов вод:

- 1 тип - очень мягкая - до 1,5 ммоль/дм³
- 2 тип - мягкая - 1,5-3,0 ммоль/дм³
- 3 тип - умеренно жесткая - 3,0-6,0 ммоль/дм³
- 4 тип - жесткая - 6,0-9,0 ммоль/дм³
- 5 тип - очень жесткая - более 9,0 ммоль/дм³

7. Изображение химического состава воды формулой Курлова.

Наиболее просто и наглядно можно изображать химический состав подземной воды в виде формулы Курлова.

Формула Курлова представляет собой псевдодробь, в числителе которой указаны анионы в процент-эквивалентной форме в порядке убывания их содержания; а в знаменателе – в таком же порядке катионы. Слева от дроби указывается минерализация воды до первого десятичного знака (г/дм³), справа – температура воды (°С), реакция воды (рН), дебит скважины или источника (м³/сут).

Полная запись формулы Курлова имеет следующий вид:

$$M \ 2,5 \frac{HCO_3 \ 59 \ SO_4 \ 29 \ Cl \ 12}{Ca \ 60 \ Mg \ 25(Na + K) \ 15} \ T14 \ pH \ 6,8 \ D10$$

8. Оценка качества воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения

Вода, используемая для хозяйственно-питьевого водоснабжения, должна удовлетворять требованиям СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий" ([таблица 13.4](#)) [35].

Таблица 13.4 Извлечения из СанПиН 1.2.3684-21

Показатели	Единицы измерения	ПДК
<i>Физические и обобщенные показатели</i>		
Запах при 20°C	балл	2
Вкус и привкус при 20°C	балл	2
Водородный показатель	единицы рН	6,0-9,0
Общая минерализация	г/дм ³	1,0
Жесткость общая	ммоль/дм ³	7
<i>Неорганические вещества</i>		
Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500
Нитраты (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	45
Нитриты (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	3,3
Аммоний (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	2,0
Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200
Железо (Fe _{общ})	мг/дм ³	0,3

Используя данные, приведенные в таблице 13.4. студентам необходимо дать заключение о качестве подземных вод территории исследований и включить эти выводы в отчет о практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратура для статического зондирования грунтов «ПИКА-19» . Техническое описание и инструкция по эксплуатации. НТЦ «ПИКА-ТЕХНОСЕРВИС», 2012. – 14 с.
2. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Трофимов В.Т., Королёв В.А., Харькина М.А. и др. // Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. – 320 с.
3. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1979.
4. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия / В.Д.Быков, А.В.Васильев. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 304 с.
5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М. Стандартиформ 2008.
6. ГОСТ Р 58325-2018 Грунты. Полевое описание. М. Стандартиформ 2008.
7. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация. М. Стандартиформ 2020.
8. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. М. Стандартиформ 2015.
9. ГОСТ 30672-2019 Грунты. Полевые испытания. Общие положения. М. Стандартиформ 2020.
- 10.ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы испытаний статическим зондированием и динамическим зондированием. М. Стандартиформ 2013.
- 11.ГОСТ 20276.1-2020 Грунты. Метод испытания штампом. М. Стандартиформ 2020.
- 12.ГОСТ 20276.4-2020 Грунты. Метод среза целиков грунта. М.: Стандартиформ, 2020.

- 13.ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: Стандартиформ, 2013.
- 14.ГОСТ 23278-2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. М.: Стандартиформ, 2015.
- 15.ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
- 16.Каменский Г. Н., Гавич И. К., Мясникова Н. А., Семенова С. М. Гидрогеологические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов. Тр. ЛГГП, т. XXVI. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- 17.Карасев И. Ф., Шумков И. Г. Гидрометрия. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – 384 с.
- 18.Корабельников Н.А., Зинюков Ю.М. Методы инженерно-геологических исследований: учебное пособие / Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков; Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2022. – 135 с.
- 19.Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. – М.: Изд-во «КДУ», 2007. – 424 с.
- 20.Курдов А.Г. «Реки Воронежской области». 1984
- 21.Лучшева А.А. Практическая гидрология / А.А. Лучшева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 234 с.
- 22.Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. Утв. Министерством природных ресурсов РФ 25 июля 2000 г.
- 23.Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. 2-х томах. Том 1. Полевые методы / Под ред. Е. М. Сергеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. – 423 с.

24. Методические рекомендации по проведению наблюдений за режимом подземных вод по ведомственной сети скважин. – Днепропетровск: ИМП, 1986. – 48 с.
25. Методы гидрогеологических и инженерно-геологических исследований: учебно-методическое пособие по специальной практике / Ю.М. Зинюков, А.Э. Курилович, С.П. Пасмарнова. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 55 с.
26. Михайлов В. Н. Гидрология: учебник для вузов / В. Н. Михайлов, С. А. Добролюбов. – М.; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 752 с.
27. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: Крисмас, 1999. – 258 с.
28. Пархоменко В.Н., Бростовская В.Г., Радьков В.М и др. Отчет о проведении геологического и гидрогеологического доизучения, инженерно-геологической съемки масштаба 1:200000 с эколого-геологическими исследованиями на площади листа М-37-IV (Воронеж).
29. Полевые практики геологического факультета Воронежского государственного университета: Пособие / Под ред. В.М. Ненахова, Ю.Н. Стрика. – Воронеж: Воронежский гос. Университет, 2003. – 352 с.
30. Полевые методы гидрогеологических исследований: профильная практика / Ю.М. Зинюков, С.П. Пасмарнова, Ю.А. Устименко. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2015. – 52 с.
31. Разуваев В.Н. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России». ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», <http://aisori.meteo.ru/Clspr>.
32. Раскатов Г. И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской области. Воронежский государственный университет, Воронеж, 1969 г., 164 с.

33. Рекомендации по определению гидрогеологических параметров грунтов методом откачки воды из скважин / ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 141 с.
34. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / Под ред. к.х.н. А.Г.Муравьева. – Изд. 4-е, перераб. и дополн. СПб.: «Крисмас+», 2018. – 360 с.
35. СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий"
36. Смирнова А.Я., Пасмарнова С.П. Аналитические исследования в гидрогеологии. - Воронеж: Воронеж. госуниверситет, 2011. – 31 с.
37. Солнцев Н.А., Калуцкова Н.А., Трегубов О.В., Стародубцева Е. А. Структура лесного покрова и почв катен в зоне лесостепи (на примере песчаных террас Воронежского заповедника) // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 2. – М.: Наука, 2004. – С. 185–194.
38. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*
39. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85
40. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
41. СП 446.1325800.2019 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства

- 42.Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд. перераб. и доп. Т.1 / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.И. Веригин и др. Под ред. В.М. Максимова. Л., Недра, 1979. – 512 с.
- 43.Учебная инженерно-геологическая практика. Учебно-методическое пособие / Ю.М. Зинюков, Н.А. Корабельников, А.Э. Курилович. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. – 67 с.
- 44.Учебная гидрогеологическая практика. Учебное пособие для вузов / Ю.М. Зинюков, О.А. Бабкина, Д.С. Трубицын. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. – 76 с.
- 45.Штамп винтовой ШВ60. Техническое описание. Екатеринбург. ЗАО «ГЕОТЕСТ», 2012.

Приложение 1. Форма журнала наблюдений за уровнем и температурой подземных и поверхностных вод

Участок наблюдений _____

Журнал

наблюдений за уровнем и температурой подземных вод

Скважина N _____

Абсолютная отметка устья скважины _____ м

Высота патрубка _____ м

Поправка рулетки: _____ м

Дата измерения	Глубина УПВ от поверхности земли, м	Температура воды, °С	Климатические параметры:		
			Темп., °С	Осадки, мм	Давление, мм

Журнал

наблюдений за уровнем и температурой поверхностных вод

Река Усмань, гидрометрический пост № 1

Абсолютная отметка нуля поста _____ м

Дата измерения	Высота от нуля поста, м	Температура воды, °С	Примечания

**Приложение 5. Образец журнала испытания на срез целиков грунта,
оформленный в электронной таблице Excel**

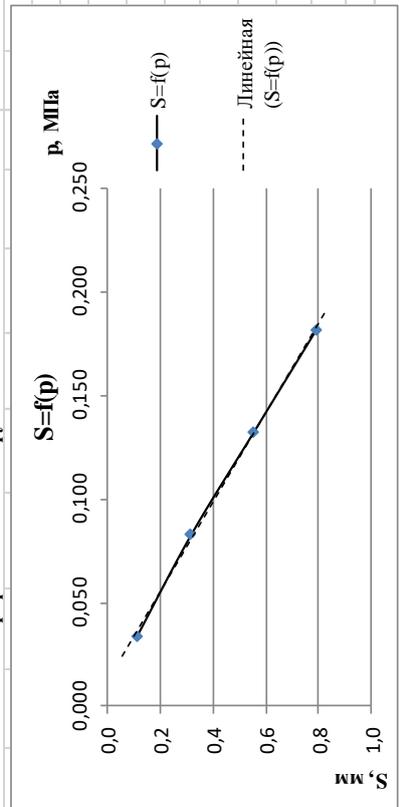
Журнал испытаний на срез целиков грунта					
Диаметр кольца, см:		25			
Площадь кольца (A), см ² :		490,87			
№ п/п	Нагрузка		Напряжение		Примечание
	нормальная (вертикальная)	касательная (горизонтальная)	нормальное	касательное	
	P, кН	Q, кН	s, МПа	t, МПа	
1	0,5	1,1	0,0102	0,0224	
2	0,75	1,5	0,0153	0,0306	
3	1	1,75	0,0204	0,0357	
C, кПа		0,0097	$\phi, ^\circ$	52	

$\tau=f(\sigma)$

$y = 1,3x + 0,0097$

Приложение 6. Образец журнала испытания грунта штампом, оформленный в Excel

Штамп винтовой ШВ60 - IV типа площадью 600 см ² . ЗАО "Гостест", зав. № 103. Дата изготовления 09.06.12г.																															
Индикаторы ИЧ-50, дата поверки - 21.03.16 г.																															
Схема испытания: винтовым штампом ниже забоя буровой скважины, согласно ГОСТ 20276-2012, приложение Г																															
Объект: строительство центра культурного развития в г. Урюпинск, Волгоградской области.																															
№ испытания	1	Скв.№	1	ИГЭ	1																										
Грунт - <i>суглинок твердый</i>																															
Константы:																															
Примечания:																															
Диаметр труб, мм:	146	Вес 1 м труб (m ₁), кН: 0,170 0,147 - 127 труба; 0,170 - 146 труба																													
Длина труб (L), м:	1,5	Кэфф... обратный прод. жесткости трубы (Hr): 21 25 - 127 труба; 21 - 146 труба																													
Плотность грунта, т/м ³	1,9	Кэффциент Пуасона (ν): 0,35 - крупноблом. -0,27; суглики -0,3; суглинки -0,35; г.лины -0,42																													
Глуб. испытания, м	1,8	Кэфф. - в зависимости от глубины штампа (Kp): 0,7																													
Наличие под. вод (да-1, нет-0)	0	Нормальное давление от веса грунта (σ _{зд0}), кПа: 33,516																													
Уровень подземных вод (h ₁), м	0,0																														
- заполняются ячейки помеченные цветом																															
Дата	22.12.2016	Время	0,0	Интервал времени Δt, ч	0	Нагрузка на штамп (сумм.), кН	0	Заглубл. штампа, м	0,3	Давление p по подше штампа, МПа	0,018	Приращение Δp, МПа	0,016	Показания маном., кПа	0	Показания индикатор, мм	S ₁	S ₂	S ₃	коэтр.	Поправка к показанию м.к.мм	Исправленные показания индикаторов, мм	S ₁	S ₂	S ₃	S _{сп}	Осадка штампа, мм	ΔS	ΣΔS	Время выдержки ΣΔt, ч	Примечание
		1,0	20	1	20	0,034	0,016	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,020	0,00000	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,00000	0,140	0,120	0,120	0,127	0,110	0,110	0,110	1		
		2,0	80	1	80	0,083	0,049	0,35	0,33	0,32	0,32	0,32	0,320	0,00002	0,350	0,330	0,320	0,320	0,320	0,320	0,00002	0,350	0,330	0,320	0,333	0,207	0,207	0,207	2		
		3,0	140	1	140	0,132	0,049	0,58	0,57	0,56	0,56	0,56	0,560	0,00002	0,580	0,570	0,560	0,560	0,560	0,560	0,00002	0,580	0,570	0,560	0,570	0,237	0,237	0,237	3		
		4,0	200	1	200	0,181	0,049	0,82	0,81	0,79	0,79	0,79	0,790	0,00003	0,820	0,810	0,790	0,790	0,790	0,790	0,00003	0,820	0,810	0,790	0,807	0,237	0,237	0,237	4		

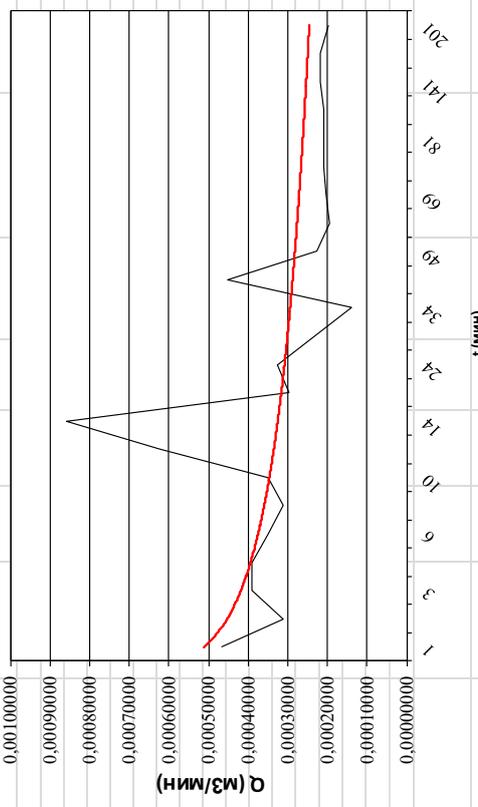


$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S}$$

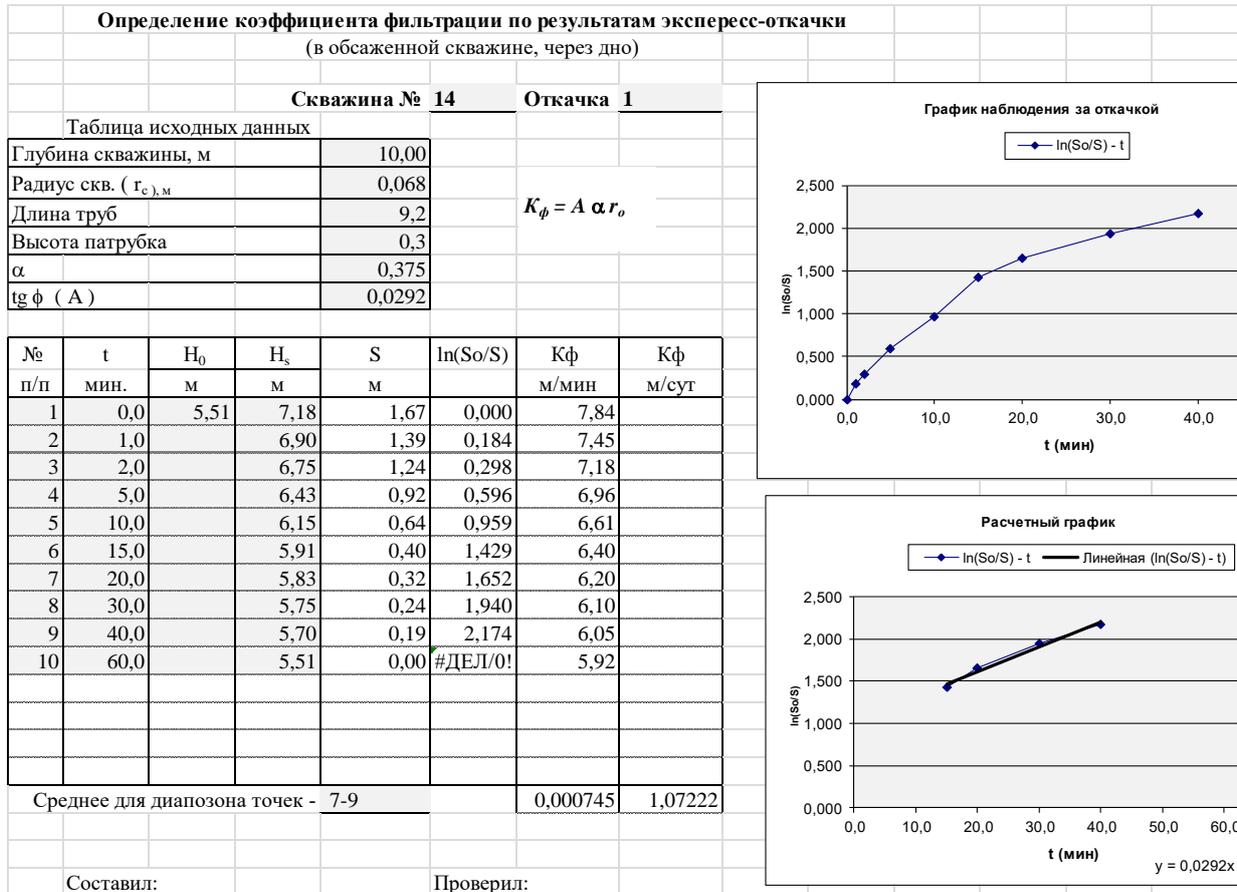
P₀ , МПа=	0,000
P_n , МПа=	0,181
S₀ , мм=	0,110
S_n , мм=	0,790
E , МПа=	35,8

Приложение 8. Образец паспорта налива в шурфы с постоянным напором

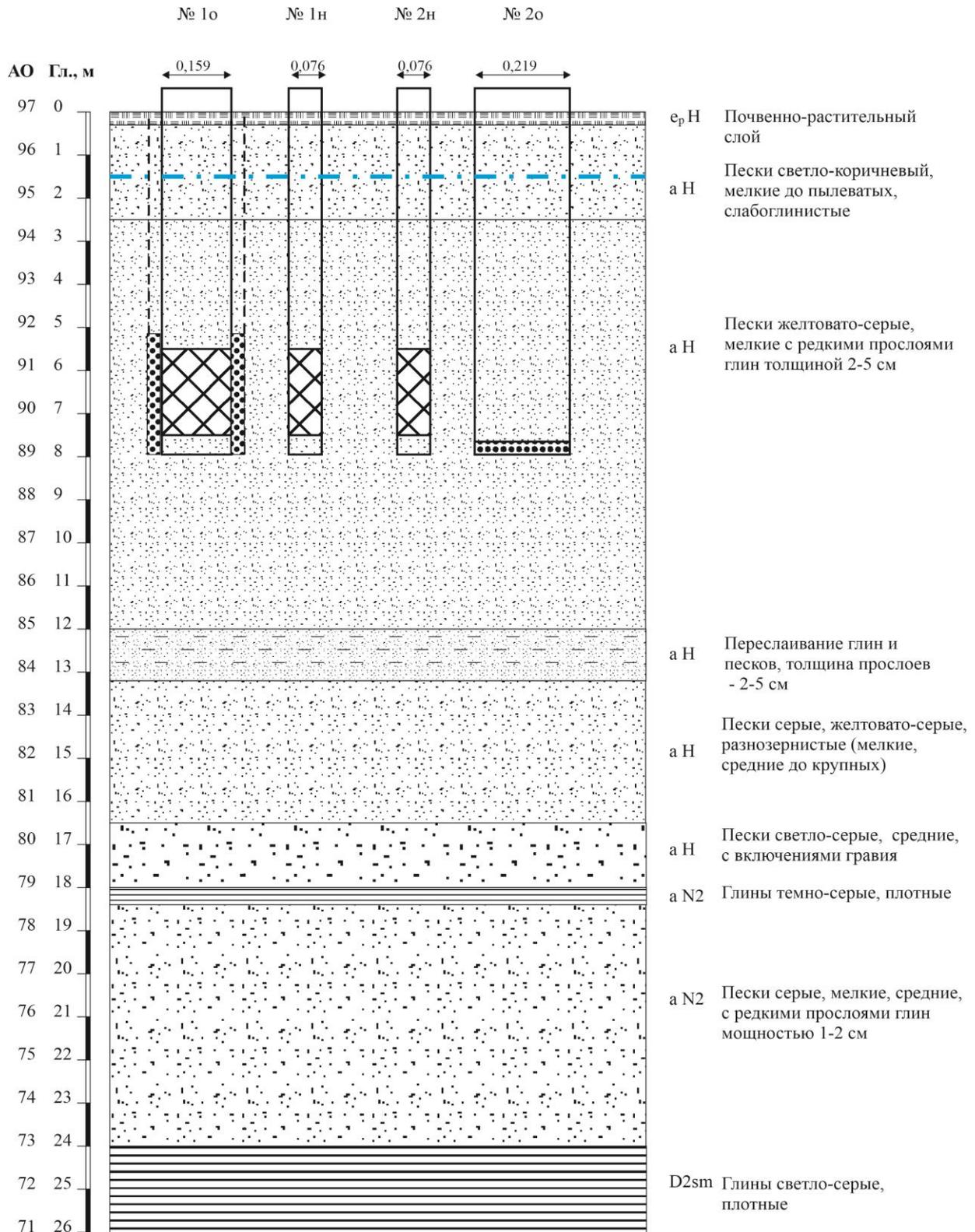
ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА НАЛИВОМ В ШУРФ №										ЖУРНАЛ ШУРФА №													
Диаметр бака : 0,315 м					Диаметр кольца: 0,25					Местонахождение: м					Абс. отгм.: м								
Площадь бака: 0,077931 м ²					Дата: 24.12.2010					Зарисовка стенок шурфа					Глубина залегания кровля								
Толщина слоя воды(м): h ₀ = 0,02					Грунт- супесь гваялая					Мощность слоя, м					Геолитический индекс								
Глубина просачивания воды(м): l= 1,5					V					Глубина шурфа: 0,2					Почвенно-расчетный слой, черном								
Действующее капиллярное давление(м): h _к = 0,15					Q					Шкала					Описание пород								
№	t	Δt	Σt	h	Δh	V	Q	Шкала	Описание пород	Глубина залегания кровля	Мощность слоя, м	Геолитический индекс	Почвенно-расчетный слой, черном	Глуб. взятия проб, их №									
п/п	ч-мин.	мин.	мин.	см	см	м ³	м ³ /мин			0,2	0,2	0,2	0,2										
1	12,28			45,0																			
2	12,29	1	0	44,5																			
3	12,30	1	1	43,9	0,6	0,0004676	0,00046759																
4	12,31	1	2	43,5	0,4	0,0003117	0,00031172																
5	12,32	1	3	43,0	0,5	0,0003897	0,00038966																
6	12,33	1	4	42,5	0,5	0,0003897	0,00038966																
7	12,35	2	6	41,6	0,9	0,0007014	0,00035069																
8	12,37	2	8	40,8	0,8	0,0006234	0,00031172																
9	12,39	2	10	39,9	0,9	0,0007014	0,00035069																
10	12,41	2	12	38,3	1,6	0,0012469	0,00062345																
11	12,43	2	14	36,1	2,2	0,0017145	0,00085724																
12	12,48	5	19	34,2	1,9	0,0014807	0,00029614																
13	12,53	5	24	32,1	2,1	0,0016366	0,00032731																
14	12,58	5	29	30,6	1,5	0,0011690	0,00023379																
15	13,03	5	34	29,7	0,9	0,0007014	0,00014028																
16	13,08	5	39	26,8	2,9	0,0022600	0,00045200																
17	13,18	10	49	23,9	2,9	0,0022600	0,00022600																
18	13,28	10	59	21,4	2,5	0,0019483	0,00019483																
19	13,38	10	69	18,8	2,6	0,0020262	0,00020262																
20	13,48	10	79	16,1	2,7	0,0021041	0,00021041																
21	13,50	2	81	46,0	-29,9	-0,0233014	0,00021041																
22	14,20	30	111	38,0	8,0	0,0062345	0,00020782																
23	14,50	30	141	29,6	8,4	0,0065462	0,00021821																
24	15,20	30	171	21,2	8,4	0,0065462	0,00021821																
25	15,50	30	201	13,6	7,6	0,0059228	0,00019743																
Примечание: заполняются ячейки заполняемые цветом																							
Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Том 1. Полевые методы. Под редакцией Е.М. Сергеева. 2-е изд., перераб. И. доп. М.: Недра, 1984.423с.																							
$k_{\phi} = \frac{Ql}{F(h_0 + h_k + l)}$																							
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%; text-align: center;"> $K_{\phi} = 0,003612503 \text{ м/мин}$ </td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"> $K_{\phi} = 3,612502994 \text{ мм/мин}$ </td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"> $K_{\phi} = 5,202004311 \text{ м/сут}$ </td> <td></td> </tr> </table>																$K_{\phi} = 0,003612503 \text{ м/мин}$			$K_{\phi} = 3,612502994 \text{ мм/мин}$			$K_{\phi} = 5,202004311 \text{ м/сут}$	
	$K_{\phi} = 0,003612503 \text{ м/мин}$																						
	$K_{\phi} = 3,612502994 \text{ мм/мин}$																						
	$K_{\phi} = 5,202004311 \text{ м/сут}$																						
Составил: _____ Проверил: _____																							



Приложение 10. Образец оформления результатов экспресс-откачки из скважины через дно



Приложение 11. Схематический геолого-технический разрез участка учебных опытных скважин на полигоне «Веневитиново»



Приложение 13. Титул и содержание отчета о практике

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Геологический факультет

Кафедра Гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

ОТЧЕТ

**о прохождении учебной полевой практики
по проведению опытных работ в гидрогеологии и инженерной
геологии**

Курс 3

Направление 05.03.01 Геология

**Профиль «Поиски, разведка подземных вод и
инженерно-геологические изыскания»**

Бригада №1

Место практики: НО и ОК «Веневитиново».

Руководители от кафедры: Бабкина О.А., Курилович А. Э.

Состав исполнителей:

... - бригадир

...

...

Дата защиты отчета ____ . ____ . ____

Воронеж – 20__

У ч е б н о е и з д а н и е

Корабельников Николай Анатольевич,

Зинюков Юрий Михайлович,

Устименко Юрий Алексеевич,

Курилович Андрей Эдуардович,

Бабкина Ольга Алексеевна

**УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОПЫТНЫХ РАБОТ
В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие

Издано в авторской редакции

Подписано в печать ... Формат

Уч.-изд. л. . Усл. печ. л. Тираж Заказ ...

Издательский дом ВГУ

394018, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10

Отпечатано с готового оригинала-макета

в типографии Издательского дома ВГУ

394018, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3