

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

Геологический факультет
Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии
и геоэкологии

МЕТОДЫ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебно-методическое пособие
по специальной практике

Составители:

Ю. М. Зинюков,
А. Э. Курилович,
С. П. Пасмарнова

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2014

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета Воронежского государственного университета 31 марта 2014 года, протокол № 3

Научный редактор – заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, доктор геолого-минералогических наук, профессор Воронежского государственного университета В. Л. Бочаров

Рецензент – доктор геолого-минералогических наук, профессор Воронежского государственного университета А. И. Трегуб

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии геологического факультета Воронежского государственного университета

Рекомендуется для студентов геологического факультета, обучающихся по специальности «Гидрогеология и инженерная геология», а также может быть полезно студентам географического факультета; специалистам, работающим в области гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, занимающимся исследованиями состояния компонентов геологической среды.

Содержание

Предисловие	4
1. Краткая геолого-гидрогеологическая характеристика района практики	5
1.1. Стратиграфия и литология.....	5
1.2. Гидрогеологические условия.....	7
2. Маршрутные наблюдения	9
2.1. Ландшафтные наблюдения.....	9
2.2. Гидрогеологические наблюдения.....	10
2.3. Инженерно-геологические наблюдения.....	11
3. Методы инженерно-геологических исследований	12
3.1. Проходка шурфов и отбор проб.....	12
3.2. Микропенетрация.....	14
3.3. Испытания грунта на сдвиг.....	15
3.4. Определения физико-механических характеристик грунта.....	17
3.5. Динамическое и статическое зондирование.....	21
3.6. Опытные наливывы в шурфы.....	23
4. Методы гидрогеологических исследований	26
4.1. Гидрометрические наблюдения.....	26
4.2. Стационарные гидрогеологические наблюдения.....	37
4.3. Гидрохимические исследования.....	39
Библиографический список	53
П р и л о ж е н и е. Результаты химического анализа воды	54

Предисловие

Специализированные полевые практики студентов геологического факультета являются обязательным элементом учебного процесса. Основная их цель – закрепление теоретических знаний и получение практических навыков в рамках дисциплин специальности и специализации. Специализированная практика по методам инженерно-геологических и гидрогеологических исследований включает широкий спектр полевых методов. В рамках существующего государственного стандарта она осуществляется после 4 курса, завершая ряд фундаментальных дисциплин – грунтоведение, механика грунтов, гидрогеология, гидрогеохимия.

С 1997 г. практика студентов-геологов Воронежского государственного университета проводится на базе учебно-научного центра «Веневитиново», который имеет более чем полувековую историю и был основан на базе центра учебной практики биолого-почвенного факультета. Он располагается на берегу р. Усманка (бассейн р. Воронеж) в заповедной зоне «Усманский бор». В связи с низким уровнем техногенного воздействия район практики можно отнести к фоновым участкам региона. Здесь студенты имеют возможность ознакомиться со специальными методами полевых исследований инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Для проведения практики существует хорошая материально-техническая база: на территории имеются стационарные домики для проживания студентов, столовая, склад для хранения необходимого оборудования.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРАКТИКИ

Полигон полевой практики по методам гидрогеологических и инженерно-геологических исследований размещается в пределах Усманского бора в 11 км от г. Воронежа, имеет размер 3×1 км, расположен на правом берегу р. Усмань (первая надпойменная терраса), в 7 км к югу от ее впадения в р. Воронеж. Полигон включает территорию учебно-научной базы «Веневитиново», пойменные участки и лесные угодья. Его территория представляет собой участок фоновое состояние природной среды.

Оба берега реки используются как зоны отдыха. Здесь располагается большое количество баз отдыха. Берега насыщены искусственными пляжами, лодочными пристанями. Правобережье – более крутое – характеризуется выраженными пойменными террасами. Левобережье отличается обширной поймой. В ее пределах выделяется пять уровней растительности. Здесь также широко развиты растительные сообщества лугов. Близкое расположение грунтовых вод и особенности ледникового рельефа способствуют развитию болот всех типов – пойменных, переходных и верховых.

Однако длительное присутствие человека на данной территории вносит свои изменения. Здесь наблюдается некое нарушение экологического равновесия, связанное с множественным складированием бытового и строительного мусора. Весьма негативным фактором является отсутствие централизованной канализации. Все базы отдыха пользуются выгребными ямами, расположенными в крупнозернистых песках зоны аэрации. В настоящее время фиксируется четкая тенденция нарастания соединений азота как в подземных, так и в поверхностных водах.

Сейчас значительных процессов, преобразующих территорию базы практики, не наблюдается, однако при возрастании техногенной нагрузки возможны негативные изменения природной среды территории.

1.1. Стратиграфия и литология

В геологическом строении территории принимают участие породы архей-протерозойского возраста, слагающие кристаллический фундамент и породы девонского, неогенового и четвертичного возрастов, слагающие осадочный чехол.

Архей-протерозойская система (AR-PR)

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

Девонская система (D)

Средний отдел (D₂)

Эйфельский ярус (D_{2ef})

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

Живетский ярус (D_{2zv})

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

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

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

Верхний отдел (D₃)

Франский ярус (D_{3f})

Саргаевская свита (D_{3sr}). Литологически представлена слабосцементированными известняками. Мощность толщи 20 м. Абсолютная отметка кровли 42 м.

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

Нижняя подсвита представлена аргиллитоподобными глинами с прослоями известняков мощностью до 2 м. Мощность подсвиты 12,5 м, абсолютная отметка кровли 55 м.

Верхняя подсвита представлена аргиллитоподобными глинами, в верхней части с прослоями известняков мощностью до 10–15 см. Мощность подсвиты 13 м, абсолютная отметка кровли 68 м.

Неогеновая система (N)

Плиоцен (N₂)

Верхний подотдел (N₂³). Отложения верхнего плиоцена залегают со стратиграфическим несогласием на породах девонской свиты, представлены песками светло-серыми, мелко- или 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)

Представлена аллювиальными отложениями пойменной и первой надпойменной террас. Поверхность пойменной террасы ровная с абсолютной отметкой 99–102 м. Первая надпойменная терраса имеет слаборасчлененную поверхность с абсолютной отметкой 105–110 м.

Осташковский горизонт

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы (a¹ III os) представлены разнородными песками с редкими маломощными прослоями глин и суглинков, мощность отложений составляет 14–20 м.

Голоцен

Аллювиальные отложения пойменной террасы (a H)

Современные аллювиальные отложения представлены песками серого и желтовато-серого цветов, кварцевыми, мелко-среднезернистыми, мощность отложений достигает 23 м.

1.2. Гидрогеологические условия

По водному режиму и источникам питания р. Усмань является типичной для полосы умеренно континентального климата Среднерусской равнины. Питание реки происходит за счет атмосферных осадков, талых и подземных вод. Множество мелких озер, расположенных в пойме реки, питаются также атмосферными осадками и грунтовыми водами. Болота встречаются, главным образом, в пойме реки.

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:

1. Водоносный неоген-четвертичный аллювиальный комплекс (N-Q).
2. Водоупорный верхнесемилукский карбонатно-терригенный горизонт (D₃sm₂).
3. Слабоводоносный локально водоносный саргаевско-семилукский карбонатный комплекс (D₃sr-sm).
4. Слабоводоносный локально водоупорный муллинско-тиманский терригенный комплекс (D₂ml-tm).
5. Водоупорная локально водоносная воробьевско-ардамовская карбонатно-терригенная свита (D₂vb-ar).
6. Водоносный клинцовско-мосоловский карбонатно-терригенный комплекс (D₂kl-ms).
7. Слабоводоносная архей-протерозойская зона кристаллических пород (AR-PR).

В связи с тем, что техногенная нагрузка затрагивает только зону активного водообмена, наиболее важное значение для района исследований имеют

неоген-четвертичный, саргаевско-семилукский и муллинско-тиманский водоносные комплексы.

Водоносный неоген-четвертичный аллювиальный комплекс (N-Q)

Этот комплекс включает аллювиальные четвертичный и плиоценовый водоносные горизонты, гидравлически связанные между собой и приуроченные к песчаным отложениям.

Нижним водоупором служат верхнесемилукские глины верхнего девона. Верхний водоупор отсутствует. Водоносный комплекс безнапорный. Статический уровень в основном залегает на глубине 3–4 м, реже – на глубине 6–8 м. Мощность обводненных песков составляет 24–30 м. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод р. Усманка.

По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией 0,5 г/л.

Водоносный саргаевско-семилукский карбонатный комплекс (D_{3sr-sm})

На описываемой территории залегает на муллинско-тиманской терригенной толще, перекрывается водоупорным верхнесемилукским карбонатно-терригенным горизонтом. Глубина залегания подошвы комплекса – 78 м (абсолютная отметка – 22 м), кровли – 58 м (абсолютная отметка – 42 м). Водовмещающие породы представлены трещиноватыми известняками мощностью до 20 м. Воды напорные, величина напора достигает 40–60 м.

По химическому составу вода преимущественно гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 0,6 г/л.

Слабоводоносный муллинско-тиманский терригенный комплекс (D_{2ml-tm})

Комплекс залегает под саргаевско-нижнесемилукским карбонатным комплексом. В районе работ вскрывается на глубине 78 м (абсолютная отметка – 22 м). Водовмещающие породы представлены алевролитами, алевритами и песчаниками. Глубина залегания подошвы комплекса достигает 123,5 м (абсолютная отметка – 23,5 м). Воды напорные, величина напора составляет 70–80 м.

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

2. МАРШРУТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Маршрутное обследование является традиционным методом геологических исследований, позволяющее всесторонне оценивать район прохождения практики. Данный вид работ представляет собой начальный этап специализированной гидрогеологической и инженерно-геологической 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 должны 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 целью наблюдений. В дневнике бригады указываются дата маршрута, описание и привязка точек наблюдений. Пункты наблюдения приурочены к характерным проявлениям геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий участка исследований. Каждая точка наблюдений подробно описывается, сопровождается зарисовками обнажений, проявлений экзогенных геологических процессов и явлений, выходов подземных вод и поверхностных водотоков, отмечается характер техногенной нагрузки и т.п. По ходу маршрута производятся описание и картирование элементов рельефа, ландшафта, водных объектов и т.п.

Маршрут сопровождается навигационным устройством (навигатор GARMIN), 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 инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки.

2.1. Ландшафтные наблюдения

Проводятся по маршрутам, начальной точкой которых является р. Усманка, пересекают I, II надпойменные террасы р. Усманка 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. Усманка. В режим его питания включены как атмосферные осадки, так и подземные воды. Это – глубокое озеро с пресной водой, характеризуется слабокислой реакцией.

2.2. Гидрогеологические наблюдения

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

В связи с этим производится описание водораздельной зоны и выходов подземных вод. В пределах первой осуществляются опробование песков зоны аэрации и определение их коэффициентов фильтрации в ненарушенном строении с использованием трубки СПЕЦГЕО. С этой целью проходятся шурфы глубиной до одного 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. Усманка. Студенты знакомятся с особенностями пробоотбора из скважин, проводят предварительную ручную прокачку. Измерение уровней подземных вод осуществляется уровнем, параллельно производятся термометрические наблюдения. Гидро-

геологический мониторинг осуществляется в течение всей практики два раза в день.

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.

2.3. Инженерно-геологические наблюдения

Проводятся в рамках тематического маршрута, направленного вдоль р. Усманка. В процессе его прохождения студенты фиксируют степень проявленности экзогенных процессов вдоль реки. Обозначают генезис данных процессов. Маршрут начинается на искусственном пляже, расположенном на крутом склоне правого берега реки. Здесь фиксируются процессы плоскостного смыва почв, боковой эрозии, вскрытия коренных отложений. При дальнейшем продвижении описываются особенности поверхностной геодинамики правого и левого берегов реки. Проводится их сравнительный анализ, рассматриваются характерные черты динамики донной и боковой эрозии. Боковая эрозия наиболее интенсивно проявляется в правом берегу реки, причем процесс протекает с большой скоростью. Происходит отрыв крупных блоков берегового склона вместе с произрастающей на нем растительностью. Особое внимание уделяется роли техногенного фактора, который проявляется в виде создания искусственных пляжей, уничтожения пойменных болот, методов инженерного укрепления берега, разрушения берегов небольшими пляжами, формирования техногенных пойменных болот. Изучаются последствия искусственного углубления русла реки. Детально описываются суффозионные воронки и растущие овраги. Проводится описание геологического разреза по обнажениям в правом берегу реки. Отбираются пробы на определение естественной влажности и пластичности, определяется сопротивление грунта внедрению конуса. Маршрут проводится методом шаговой съемки, сопровождается ведением бригадного полевого дневника, зарисовками и фотографиями. На схематической карте инженерно-геологических условий района практики учитываются виды, форма, геометрические размеры и генезис описываемых природных и инженерно-геологических процессов и явлений.

3. МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель инженерно-геологического изучения грунтов, находящихся в активной зоне оснований фундаментов зданий и сооружений, заключается в получении информации об их составе и свойствах.

Согласно классификации Е. М. Сергеева свойства грунтов подразделяются на физические, физико-механические и физико-химические. Физические свойства характеризуют состояние грунта и проявляются под действием физических полей – гравитационного, теплового и магнитного. Физико-механические свойства характеризуют поведение грунта под действием внешних нагрузок. Физико-химические свойства проявляются в результате взаимодействия твердой, жидкой, газовой и живой компонент, входящих в состав грунта. Инженерно-геологические свойства грунтов оцениваются показателями, определяемыми в лабораторных условиях, либо по данным полевых опытных работ и геофизических исследований.

При проведении учебной практики на полигоне «Веневитиново» необходимо выполнить следующие виды работ:

1. Проходку шурфов и отбор проб.
2. Микропенетрацию.
3. Испытания грунта на сдвиг
4. Проведение лабораторных анализов грунта.
5. Динамическое и статическое зондирование.
6. Опытные наливывы в шурфы.

Эти работы проводятся бригадой студентов в нескольких точках по указанию преподавателя, состав бригады 7–12 человек.

3.1. Проходка шурфов и отбор проб

Для отбора проб и проведения полевых испытаний в районе базы «Веневитиново» предусматривается проходка шурфов размером 1×1 м, глубиной до одного метра. Места проходки приурочены к различным геоморфологическим элементам.

Планово-высотная привязка выработок 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). 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 саперной лопатки, монолиты – при помощи пробоотборника из полевой грунтовой

лаборатории. В стенку шурфа задавливаются 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, в которой указываются:

1. Номер бригады.
2. Номер образца.
3. Номер шурфа.
4. Глубина отбора.
5. Вид грунта.
6. Вид лабораторных анализов.
7. Дата отбора.
8. Подпись техника-геолога.

Данные по опробованию для одного интервала приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Виды работ для каждого интервала опробования

Вид работ	Вид пробы	Объем единичной пробы	Кол-во образцов
Определение гранулометрического состава песка	Нарушенной структуры	Мешочек (150–200 г)	3 шт.
Определение физ.-хим. свойств глинистых грунтов	Нарушенной структуры	Мешочек (100–150 г)	3 шт.
Определение плотности и влажности грунтов	Ненарушенной структуры	2 кольца (бюкса)	3 шт.
Испытания грунта на сдвиг	Ненарушенной структуры	3 кольца прибора ВСВ-25	3 шт.
Микропенетрация	–		10 точек

Примечание. Отбор глинистых грунтов проводится при мощности их прослоев более 20 см.

Описание шурфа, сопровождаемое зарисовкой, проводится каждым студентом в личном полевом дневнике. В нем указывается:

1. Привязка шурфа, абсолютная отметка поверхности.
2. Геоморфологическое положение.
3. Размеры и глубина.
4. Описание грунтов.

Описание грунтов проводится в следующей последовательности, сверху вниз:

- Номер слоя.

- Стратиграфический индекс.
- Глубина залегания, мощность.
- Вид грунта – почвенно-растительный слой, песок, супесь, суглинок или глина.
- Цвет.
- Разновидность. Для песков выделяется по крупности и плотности сложения, для глинистых пород – по консистенции. Учитывается присутствие органического вещества.
- Наличие включений, прослоев, линз. Их мощность.

После завершения работ шурф засыпается, грунт трамбуется, укладывается срезанный дерн, поверхность рекультивируется.

3.2. Микропенетрация

Данный способ используется для:

- 1) качественной характеристики изменчивости состояния и свойств визуально однородных глинистых грунтов;
- 2) приближенного определения числа их пластичности и прочности, а также плотности песчаных грунтов.

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

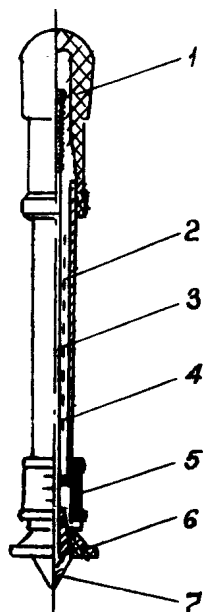


Рис. 1. Микропенетrometer MB-2

Проведение испытаний

В стенке или днище шурфа зачищается площадка. Движок прибора смещается вниз. Микропенетrometer 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 риски. Точность отсчета 0,25–0,5 мм. Опыт повторяют 5–10 раз. Условное предельное напряжение сдвига (кгс/см^2) рассчитывают по формуле

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

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 (см).

Результаты испытаний сводятся в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний грунта микропенетром

Но- мер шур- фа	Глу- бина, м	Номер испытания										$\bar{h}_{\text{ср.}}$, мм	R , кгс/см^2
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

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

3.3. Испытания грунта на сдвиг

Определение прочностных свойств грунта производится с помощью портативного сдвигового прибора ВСВ-25 (рис. 2). Он позволяет устанавливать сопротивление песчано-глинистых грунтов одноплоскостному сдвигу как в быстром, так и в медленном режиме.

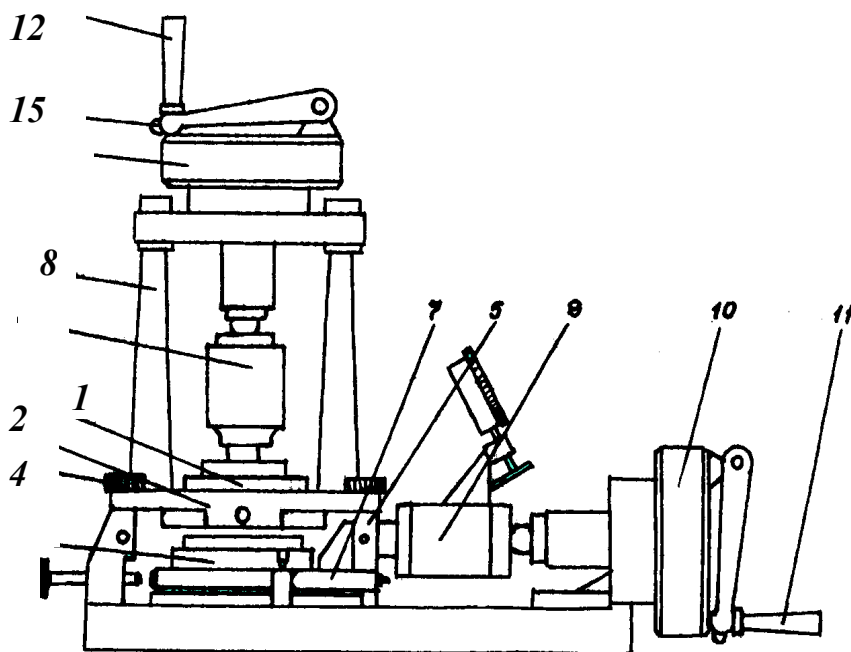


Рис. 2. Портативный сдвиговый прибор ВСВ-25

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).

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 . 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.

Угол внутреннего трения и удельное сцепление определяют графоаналитическим способом:

$$\tau = \sigma g \varphi + c,$$

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).

Журнал проведения испытаний на сдвиг

Для определения c и φ строится график зависимости τ от σ (рис. 3). Масштаб – 1 кгс/см² в двух см. Значения c и φ снимаются с графика.

Сопротивление грунта
сдвигу, кгс/см²

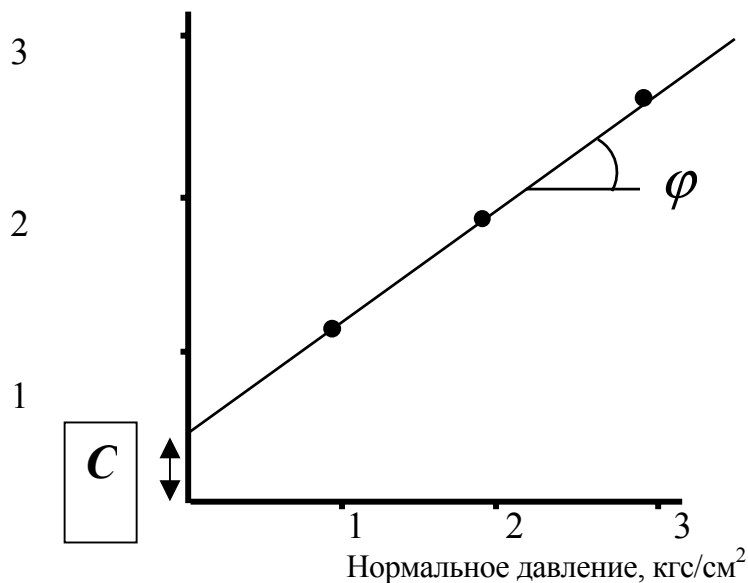


Рис. 3. График зависимости τ от σ

Кроме того, проводится расчет по следующим формулам:

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

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

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

где n – количество сдвигов.

По этим же формулам рассчитываются нормативные (средние) значения сдвиговых характеристик. Также должны быть построены графики изменения c и ϕ по глубине.

3.4. Определения физико-механических характеристик грунта

Определение плотности грунта

Плотность грунта (ρ) – это вес единицы его объема (г/см³). 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

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

где g_1 – вес кольца с грунтом (г), g_0 – вес кольца (г), v – объем кольца (50,2 см³).

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 д. ед.). Определяется в грунтовой лаборатории ВГУ термостатным способом.

Ход определения:

1. 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.

2. Высушить открытый бюкс с грунтом в сушильном шкафу при температуре 100–105⁰ С до постоянного веса (g_2). Перед взвешиванием бюкс необходимо закрыть крышкой и охладить в эксикаторе. Первичное высушивание производится в течение 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.

3. Влажность грунта рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0}.$$

4. 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

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W},$$

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.).

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

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}; \quad e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}.$$

Согласно ГОСТ 25100-2011 (Грунты. Классификация), по коэффициенту пористости выделяются следующие разновидности песков (табл. 3):

Т а б л и ц а 3

Классификация грунтов по значениям коэффициента пористости

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:

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w},$$

где ρ_w – плотность воды (1 г/см³).

Согласно ГОСТ 25100-95, по данному показателю выделяются следующие разновидности песков (табл. 4):

Т а б л и ц а 4

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 в грунтовой лаборатории ВГУ ситовым методом. При этом используется стандартный набор сит диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Подготовка образца

1. В течение 1–2 суток песок сушится на листе бумаги, затем грунт растирается в ступке при помощи резинового пестика.

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

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

Ход опыта

1. 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.

2. 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.

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

4. Результаты анализа выразить в процентах.

Согласно ГОСТ 25100-95, по гранулометрическому составу выделяются следующие разновидности песков (табл. 5):

Т а б л и ц а 5

Классификация грунтов по данным гранулометрического анализа

Разновидность песка	Размер зерен, мм	Содержание, % 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 составить сводные таблицы и уточнить их номенклатурное наименование (табл. 6, 7).

Т а б л и ц а 6

Результаты определения гранулометрического состава

Номер шурфа	Номер пробы	Глубина, м	Содержание фракций, %								Наименование грунта
			>10 мм	10–5 мм	5–2 мм	2–1 мм	1–0,5 мм	0,5–0,25 мм	0,25–0,1 м	<0,1 мм	

Т а б л и ц а 7

Результаты лабораторных исследований свойств грунтов

Номер шурфа	
Номер пробы	
Глубина, мм	
Влажность, д. ед.	
Плотность, г/см ³	
Плотность скел., г/см ³	

Пористость, д. ед.	
Коэф. пористости, д. ед.	
Коэф. водонасыщ., д. ед.	

Для глинистых грунтов необходимо определить природную влажность, влажность на границах текучести и раскатывания. Установить число пластичности и показатель текучести, уточнить наименование грунта. Анализы и расчеты проводятся согласно методическим указаниям к лабораторным работам по грунтоведению (№ 872, с. 18–20).

3.5. Динамическое и статическое зондирование

Метод основан на определении сопротивления грунта внедрению в него зонда. Он позволяет проводить расчленение разреза рыхлых отложений, качественно и количественно оценивать инженерно-геологические свойства дисперсных грунтов в условиях естественного залегания.

По способу погружения зонда различают динамическую и статическую модификации метода. В первом случае зонд забивают в грунт ударами молота, во втором – вдавливают с помощью тех или иных приспособлений.

Зондирование выполняется бригадой студентов под руководством преподавателя двумя способами при помощи установки УЗП–7М. Расстояние до шурфа – 1 м.

Динамическое зондирование

Заключается в забивке зонда в грунт стандартными ударами молота, сопровождающейся регистрацией глубины погружения зонда от серии ударов. Зондировочное устройство состоит из зонда, молота (ударника) весом в 30 кг и приспособления, обеспечивающего его сбрасывание с постоянной высоты. Кроме того, в комплект входят мачта с опорой, анкерные сваи для ее крепления, устройство для извлечения зонда, набор инструментов. Зонд состоит из накопника (конуса с углом при вершине 60°), штанги, диаметром 36 мм с нипельным соединением. На верхнюю штангу надевается наковальня (подбабок).

При проведении динамического зондирования необходимо иметь в виду следующее:

- 1) мачта должна быть установлена строго вертикально, в противном случае при извлечении зонда могут произойти перекося и заклинивание штанги;
- 2) в процессе зондирования недопустимо поддевание верхней траверсы захватами.

Фиксируется количество ударов (N), необходимое для погружения зонда на глубину 10 см. По результатам зондирования строится ступенчатый график зависимости изменения N с глубиной, совмещенный с литологической колонкой. По оси абсцисс откладывают количество ударов, по оси ординат – глубину зондирования. Масштаб – от 1:10 до 1:100.

Согласно ГОСТ 19912-81 (Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием), можно определить условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда (P). Значения физико-механических характеристик грунтов по выделенным слоям принимаются согласно СП 11-105-97 (прил. И, табл. 6, 7).

Статическое зондирование

Статическое зондирование заключается во вдавливании зонда в грунт с одновременной регистрацией общего усилия пенетрации и сопротивления пенетрации наконечника зонда.

Установка статического зондирования включает: зонд, состоящий из наконечника, штанг и внутренних стержней, направляющей мачты с опорной рамой, устройства для вдавливания зонда, анкерных свай для нейтрализации реактивного давления, измерительной аппаратуры для регистрации показателей зондирования.

При проведении зондирования общее усилие пенетрации ($Q_{\text{общ}}$) фиксируется по левому индикатору, сопротивление пенетрации наконечника зонда (Q_3) – по правому. Отсчеты снимаются через каждые 10 см погружения зонда. Полученные данные переводятся в килограммы по тарифовочным графикам. Сопротивление грунта трению по боковой поверхности (F) равно

$$F = Q_{\text{общ}} - Q_3 .$$

Удельное сопротивление грунта под конусом зонда (q_3) рассчитывается по формуле

$$q_3 = Q_3 / S_{\text{кон}} ,$$

где $S_{\text{кон}}$ – площадь поперечного сечения конуса (см^2).

Удельное сопротивление грунта по муфте трения зонда (f_3) равно:

$$f_3 = F / S_{\text{кон}} ,$$

где r – радиус зондировочной штанги (см), h – глубина погружения зонда (см).

Статическое зондирование заканчивают после достижения зондом заданной глубины или предельных усилий на конусе. Результаты зондирования оформляют совместно с литологической колонкой в виде совмещенных графиков Q_3 и f_3 в зависимости от глубины (h). По оси ординат откладывается глубина зондирования в масштабе от 1:10 до 1:100, по оси абсцисс – удельное сопротивление грунта под конусом зонда $1\text{см} - 20\text{ кгс/см}^2$ и удельное сопротивление грунта по муфте трения $1\text{ см} - 2\text{ кгс/см}^2$.

Значения физико-механических характеристик грунтов и консистенция глинистых образований по выделенным слоям принимаются согласно СП 11-105-97 (прил. И, табл. 1–5).

Эмпирическая формула де-Беера для подсчета модуля деформации песков имеет вид:

$$E = 1,5 q_3 .$$

3.6. Опытные наливывы в шурфы

Фильтрационные свойства пород определяются с целью проведения расчетов для обоснования проектирования гидротехнических сооружений и мелиорации земель, определения водопритоков в горные выработки, расчетов системы водопонижения и дренажа, прогнозов загрязнения подземных вод и т.д. Опытные наливывы в шурфы являются одним из наиболее распространенных полевых видов опытно-фильтрационных работ. Основным параметром, определяющим фильтрационные свойства грунтов, является коэффициент фильтрации (K_f). Согласно закону Дарси,

$$K_f = Q / FI,$$

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

Опыты проводятся бригадами студентов в точках опробования. Для этого осуществляется проходка специальных шурфов с размерами в плане 1×1 м глубиной $0,5$ – $1,0$ м. Наливывы выполняются по методике А. К. Болдырева либо Н. С. Нестерова. Расчет параметров при не установившемся режиме фильтрации производится по Н. Н. Биндеману.

Способ А. К. Болдырева. Налив производится в одно кольцо без учета влияния капиллярных сил. Поэтому он может применяться только в песках от средней крупности до гравелистых, галечниках, а также трещиноватых скальных породах. Для наливывов в песчаные грунты используется кольцо диаметром от 25 до 50 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, концентрически вдавливаемых в грунт на глубину до $2,5$ см. Диаметр наружного кольца должен быть не менее 50 см, внутреннего – не менее 25 см (соотношение диаметров $1:2$).

Подготовка к опыту такая же, как и по способу А. К. Болдырева. При наливыве в зазоре между кольцами поддерживается постоянный уровень воды, что позволяет принимать поперечное сечение инфильтрующегося потока равным площади внутреннего кольца (400 см^2). Время снижения уровня устанавливается по водопонижению во внутреннем кольце.

Коэффициент фильтрации рассчитывается по формуле

$$K_f = 864 \frac{1,44 \beta W}{Ft},$$

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/c), F – площадь кольца см^2 , 864 – переводной коэффициент (из $\text{см}^3/\text{с}$ в $\text{м}^3/\text{сут}$).

По результатам опыта строится график зависимости W от t , по которому определяется значение t_1 (рис. 4).

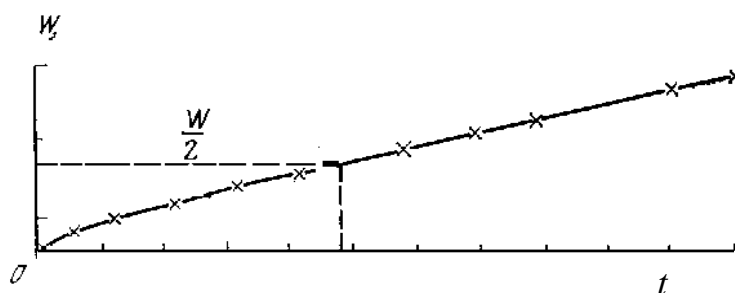


Рис. 4. График зависимости W от t

Значения коэффициента β устанавливаются по следующему графику (рис. 5):

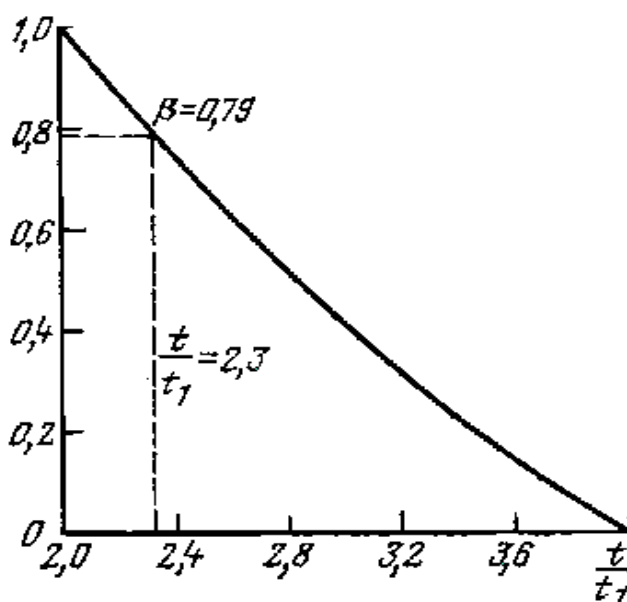


Рис. 5. График зависимости β от $\frac{t}{t_1}$.

Согласно Н. Н. Маслову, по значениям K_ϕ устанавливается водопроницаемость грунта (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Характеристика грунтов по водопроницаемости

№ пп	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут	Характеристика грунтов по водопроницаемости
1	$5 \cdot 10^{-5}$	Практически водонепроницаемые
2	До $5 \cdot 10^{-3}$	Весьма слабопроницаемые
3	До 0,5	Слабопроницаемые
4	До 5	Проницаемые
5	До 50	Хорошо проницаемые
6	> 50	Сильнопроницаемые

4. МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Гидрометрические наблюдения

В гидрогеологической практике широко применяются методы гидрометрии.

Гидрометрические наблюдения производятся для оценки ряда параметров поверхностных водотоков (ширина реки, глубина реки, скорость течения водотока, расходы реки и др.) и подземных вод (модуль подземного стока, объем подземного стока, величина естественных ресурсов подземных вод и др.); данный метод широко используют при площадных гидрогеологических исследованиях (гидрогеологическая съемка и т.д.) для оценки ресурсов подземных вод зоны активного водообмена.

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.

Исследование и изучение гидрологического режима необходимы для выполнения гидрологических и водохозяйственных расчетов при проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, а также для научных выводов и обобщений в гидрогеологии.

В состав основных гидрометрических работ на реках, озерах и водохранилищах входят:

- 1) устройство и оборудование гидрологических станций и постов;
- 2) промерные работы для изучения глубин и рельефа дна водных объектов;
- 3) наблюдения за колебаниями уровней воды;
- 4) наблюдения за уклонами водной поверхности;
- 5) наблюдения за температурой воды, замерзанием и вскрытием водоемов, состояниями ледяного покрова;
- 6) измерение скоростей и направлений течений;
- 7) определение стока воды и наносов;
- 8) определение механического состава наносов и донных отложений;
- 9) наблюдения за цветом, прозрачностью, плотностью и химическим составом воды.

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.

Работы по гидрометрической оценке подземного стока обычно производятся в период устойчивой летней межени при отсутствии склонового стока и выпадения осадков непосредственно на водную поверхность реки. В этот период расход реки отвечает суммарному расходу подземных вод на рассматриваемом участке.

Методика гидрометрических исследований

Расход определяется методом «скорость-площадь». Он заключается в сопоставлении скорости течения и площади поперечного сечения потока. Площадь поперечного сечения потока определяется по результатам измерения глубин, а скорости в отдельных точках живого сечения измеряются чаще всего гидрометрической вертушкой на гидрометрических створах (с лодочных переправ, вброд, с моста). При измерении скорости данным методом регистрируются общее число оборотов лопастного винта и продолжительность измерения. Величина скорости определяется по тарировочному графику в зависимости от числа оборотов в секунду. Посредством гидрометрической вертушки 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.

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

Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела. Для измерения скорости используются 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 поплавочных 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 выдерживается 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 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 чаще всего гидрометрическими вертушками, реже применяются поплавки. Остальные из указанных выше методов и приборов употребляются главным образом при проведении научно-исследовательских работ, в основном в лабораторных условиях.

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. 6.

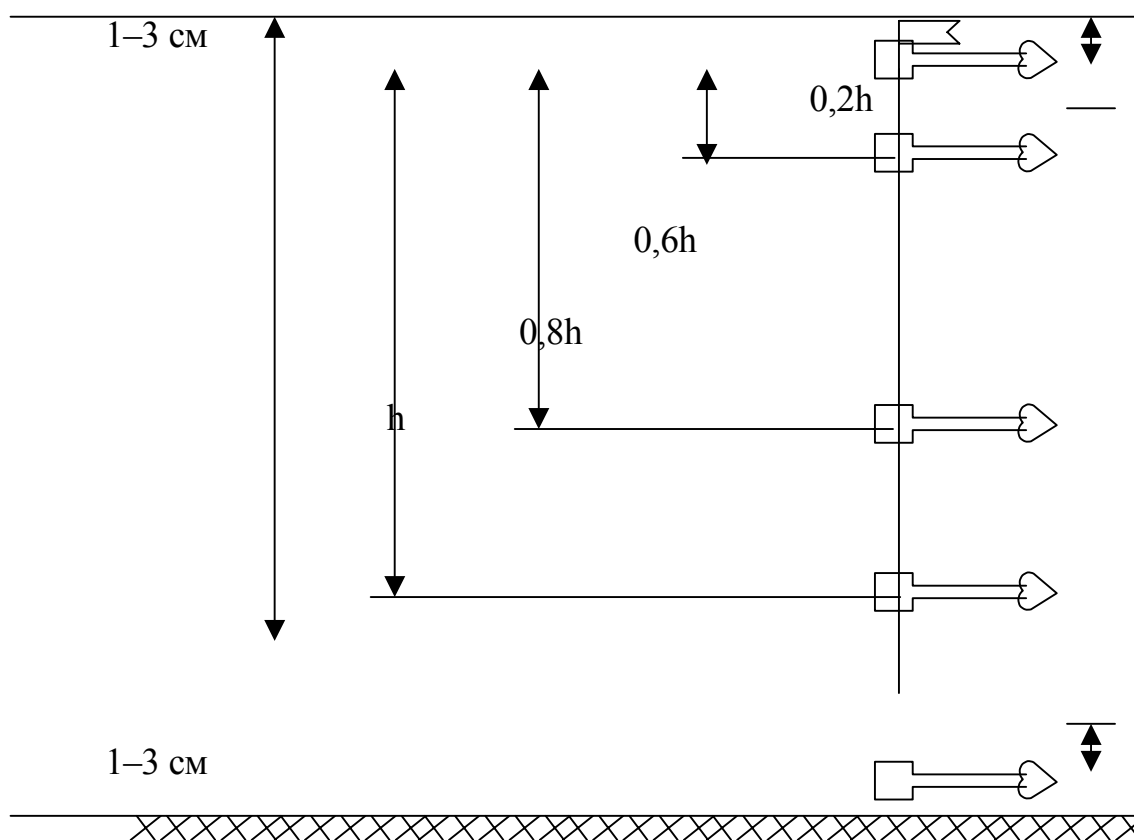


Рис. 6. Расположение вертушки на вертикали при детальном способе изучения у поверхности дна

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. 1. 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 недостаточных глубинах измерения проводятся в одной точке – $0,6$ рабочей глубины.

При измерении скорости течения производят запись времени поступления отдельных сигналов вертушки. При больших скоростях течения сигналы следуют друг за другом очень часто, поэтому отсчет времени по секундомеру берут через 2–5 сигналов. Число сигналов, а следовательно, и соответствующую

щее им количество оборотов лопастного винта (1 сигнал – 20 оборотов) между записями времени называют приемом. Общее число приемов за время измерения в точке принимают четным, обычно не более восьми и не менее двух, с таким расчетом, чтобы общая продолжительность измерения была не менее 100 сек.

При каждом измерении скорости течения рекомендуется, прежде чем начать отсчет времени поступления сигналов, первые два-три сигнала пропустить без записи, чтобы лопастный винт набрал скорость вращения, соответствующую скорости течения.

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:

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

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; K – 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

$$V_B = 0,1(U_{\text{пов}} + 3U_{0,2} + 3U_{0,6} + 3U_{0,8} + U_{\text{дон}});$$

- при измерении скорости в трех точках на вертикали

$$V_B = 0,25(U_{0,2} + 2U_{0,6} + U_{0,8});$$

- при измерении скорости в двух точках на вертикали

$$V_B = 0,5(U_{0,2} + U_{0,8});$$

- при измерении скорости на одной вертикали

$$V_B = U_{0,6}.$$

Частичные площади живого сечения определяются с учетом глубин на скоростных и промерных вертикалях (рис. 7). Например, частичная площадь живого сечения между берегом и первой скоростной вертикалью:

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

частичная площадь живого сечения между первой и второй скоростными вертикалями:

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

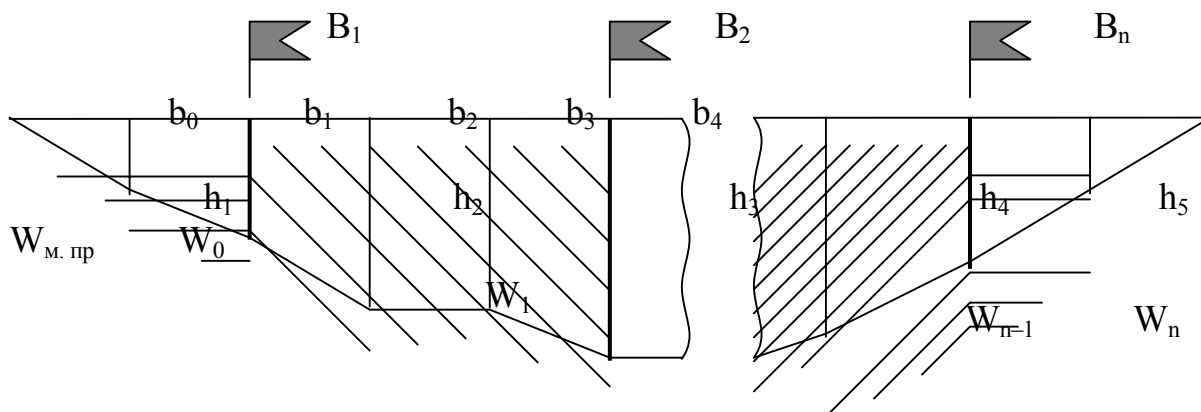


Рис. 7. Схема к вычислению частичных площадей живого сечения

Конечным результатом гидрометрических наблюдений является определение следующих параметров:

- 1) F – площадь частных водосборов поверхностных водотоков;
- 2) Q – расход поверхностных водотоков;
- 3) M_n – модуль подземного стока;

Модуль подземного стока можно рассчитать по формулам:

$$M_n = \frac{Q_{\min} \cdot 10^3}{F},$$

где Q_{\min} – минимальный расход воды; F – площадь водосбора.

$$M_n = \frac{1000 \cdot Q_n}{FT},$$

где Q_n – годовой подземный сток; F – площадь водоносных горизонтов; T – время в годовом исчислении;

- 4) $W_{\text{подз}}$ – объем подземного стока;

5) $J_{\text{подз}}$ – высота слоя подземного стока;

6) $Q_{\text{ест}}$ – количество естественных ресурсов подземных вод.

Естественные ресурсы подземных вод определяются исходя из следующей зависимости:

$$Q_{\text{ест}} = M_{\text{п}} F.$$

Описание основных типов гидрометрических вертушек

Наиболее распространенной гидрометрической вертушкой является вертушка ГР-21М (рис. 8).

Гидрометрическая вертушка ГР-21М – прибор для измерения скорости потока в условиях мелководья и минимальных скоростей течения, а также в замутненной воде и заросших растениями водоемах.

Области применения

- 1) вода с растительностью;
- 2) граничные зоны речных бассейнов;
- 3) загрязненная вода;
- 4) глубина до 3 м.

Вертушка снабжена двумя лопастными винтами: винт № 1 (основной) – компонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 200 мм, его применяют при работе со штангой без стабилизатора, при этом вертушка измеряет проекцию скоростного вектора по оси прибора; винт № 2 – некомпонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 500 мм, его применяют при работе с тросом при больших скоростях течения, более 2 м/с. Сигнальная система вертушки укомплектовывается звонком.

Питание электрической цепи осуществляется от двух гальванических элементов общим напряжением 3 В.

В комплект вертушки входят: вертлюг для работы с тросом, два карабина для подвески на тросе, указатель направления, применяемый при работе со штангами для установки вертушки по нормали к створу, когда ее не видно в воде, сигнальное устройство, масленка с трансформаторным маслом, две отвертки, запчасти – запасные контактные пружины, винты и пр. Штанга для вертушки состоит из двух звеньев общей длиной 3,0 м, диаметром 27 мм.

Стабилизатор направления вертушки ГР-21М состоит из штока и двух плавно изогнутых пластин, укрепленных на его конце. Такое устройство обеспечивает устойчивую ориентировку вертушки навстречу течению даже при небольших скоростях. Стабилизатор вертушки ГР-21М оказывает большее со-

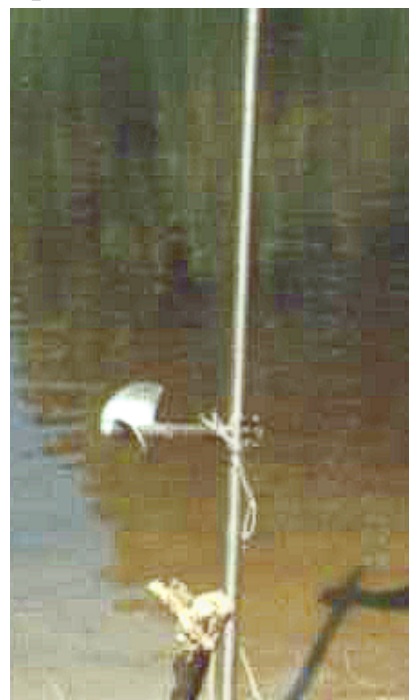


Рис. 8. Гидрометрическая вертушка ГР-21М

противление потоку, вследствие чего требуется более тяжелый груз, чтобы уменьшить угол заноса прибора.

Контактный механизм вертушки ГР-21М помещен во внутренней полости оси, заполняемой трансформаторным маслом. Масло заливают в полость лопастного винта при сборке ходовой части; шарикоподшипники, таким образом, находятся в масляной ванне, что способствует их лучшей работе. При вращении лопастного винта ось ходовой части остается неподвижной.

Индукционный измеритель потока NAUTILUS C2000

NAUTILUS C2000 – прибор для измерения скорости потока в условиях мелководья и минимальных скоростей течения, а также в замутненной воде и заросших растениями водоемах (рис. 9).

Преимущество и особенности

- измерение очень малых скоростей течения (от 0,000 м/с), а также на мелководье (глубина от 3 см);
- анализ профиля скоростей, например в канализационных стоках и резервуарах;
- возможность использования для регулярного контроля и проверки расходов, не зависящей от таких параметров, как температура, концентрация осадков и т.д.;
- исключительно надежный и ударопрочный сенсор;
- отсутствие движущихся частей – износостойкий и не требующий ухода;
- программируемое усреднение результатов измерений;
- непосредственный показ скорости течения в м/с.

Описание. Измерение скорости потока на мелководье с медленным течением, усложненное присутствием растений в воде, – такие задачи могут быть решены с помощью NAUTILUS C2000 (рис. 10). Благодаря уникальной конструкции и отсутствию движущихся частей NAUTILUS может использоваться в ситуациях, когда другие датчики неприменимы.

Точность измерений датчика, составляющая 1 %, приобретает особое значение при измерениях в области минимальных скоростей. Каждый датчик калибруется ОТГ индиви-



Рис. 9. Индукционный измеритель потока NAUTILUS C2000



Рис. 10. Датчик NAUTILUS C2000

дуально для диапазона скоростей от 0,000 м/с до 1,500 м/с (стандартно) или до 1,500 м/с (дополнительно).

Измеряемое значение скорости течения в м/с показывается на четком дисплее контроллера SENSA Z300. Значение может усредняться на настраиваемом интервале от 0 до 60 секунд. Датчик также может быть подключен к персональному компьютеру через интерфейс RS-232C, позволяя записывать и анализировать динамику изменения скорости течения.

Принцип функционирования. Работа датчика основана на принципе магнитной индукции: если электропроводная среда движется в магнитном поле, то возникающее в данном проводнике напряжение пропорционально его длине, напряженности магнитного поля и скорости движения среды. При постоянном расстоянии между электродами в датчике и фиксированной величине магнитного поля в обмотке величина напряжения прямо пропорциональна скорости движения электропроводящей среды (в нашем случае – воды).

Использование принципа магнитной индукции позволяет проводить измерение минимальных скоростей без каких-либо движущихся частей, а также исключает влияние отличных от аксиального компонента скоростей потока.

Технические характеристики

1. Интервал измеряемых скоростей 0 – 1,5/2,5 м/с.
2. Программируемое усреднение результатов от 0 до 60 с.
3. Точность +/-1 % от измеряемой величины.
4. Рабочая температура -5/+70 °С.
5. Материал датчика – ударопрочная эпоксирезина.
6. Материал электродов – титан (легко очищается).
7. Минимальная электропроводность среды – 5µmS.
8. Электропитание – через индикатор скорости SENSA Z300.
9. Габариты – 18 × 5 × 2 см.
10. Вес – 0,5 кг (включая 3 м соединительного кабеля).

Комплектация

- сенсор NAUTILUS C2000, включая соединительный кабель 3 м со штекером;
- адаптер для закрепления сенсора на штанге;
- контроллер с дисплеем SENSA Z300;
- калибровочная таблица;
- батарейки 10 × 1,5V;
- ящик для инструмента и приборов;
- штанга диаметром 20 мм, длиной 3 м из 3-х частей.

Дополнительные возможности

- штанга диаметром 20 мм и длиной 2/3/4/5/6 м с дециметровой разметкой;
- штанга диаметром 20 мм и длиной 2/3/4/5/6 м с сантиметровой разметкой;

- удлинители штанги 0,5 и 1 м с дециметровой разметкой;
- удлинители штанги 0,5 и 1 м с сантиметровой разметкой;
- ящик для инструментов и приборов;
- кабель для передачи результатов измерения (длина до 15 м).

Гидрометрическая вертушка С2. Гидрометрическая вертушка С2 представляет собой устройство для измерения скорости воды в потоках с малой глубиной.

Гидрометрическая вертушка С20. Гидрометрическая вертушка С20 представляет собой компактное и надежное устройство для измерения скорости потока воды в открытых каналах, ручьях и реках.

Универсальная гидрометрическая вертушка С31. Универсальная гидрометрическая вертушка С31 (рис. 11) представляет собой устройство для измерения скорости потока воды в открытых каналах, ручьях, реках и морях, а также в трубах под давлением.

Преимущество и особенности:

- рассчитан на установку на различных конструкциях как на штангах, так и на подвесном оборудовании;
- позволяет измерять скорости от 0,025 до 10 м/с;
- имеет надежную конструкцию и сделан из высококачественных материалов, что обеспечивает возможность эксплуатации в сложных и экстремальных условиях;
- проверен многолетней эксплуатацией в разных условиях по всему миру.

Области применения:

- 1) измерение скорости потока в ручьях и на мелководье с низкой скоростью течения (установка на штанге);
- 2) измерение в глубоких водах и на быстром течении (подвеска с балластным грузом);
- 3) контроль эффективности турбин на электростанциях;
- 4) плановый контроль и калибровка расходомеров.

Измерение скорости течения производится в С31 с помощью определения скорости вращения металлического пропеллера (рис. 12). В зависимости от типа пропеллера вертушка может использоваться для измерения



Рис. 11. Универсальная гидрометрическая вертушка С31



Рис. 12. Пропеллер вертушки С31

различных диапазонов скорости течения от 0,025 до 10 м/с.

Для измерения скорости течения в небольших ручьях и на мелководье С31 используется в комбинации со штангой. Существуют два способа закрепления прибора на штанге – непосредственное крепление на штанге диаметром 20 мм и использование позиционирующего устройства HERES. Использование позиционирующего устройства позволяет изменять глубину измерения, не доставая прибора из воды. Для измерения в глубоких водах и на быстром течении С31 используется на подвеске с балластным грузом. Прибор также может быть укомплектован стабилизатором с датчиком касания грунта.

Принцип функционирования. Пропеллер вертушки вращается потоком воды. Магнит, вращающийся вместе с пропеллером, замыкает каждый оборот язычкового контакта, герметичного под давлением. Частота колебаний практически пропорциональна скорости течения в измеряемой точке. Коэффициенты в уравнении определяются в ОТГ в тарировочных каналах.

Технические характеристики

- интервал измеряемых скоростей 0,025–10 м/с;
- может применяться как на штанге, так и на подвеске с балластным грузом;
- лопасти вертушки различного диаметра, шага и из различных материалов.

Комплектация

- корпус вертушки С31 с инструментами и фиксатором;
- лопасти из искусственного материала (диаметр 125 мм, шаг – 0,25 м);
- счетный прибор Z21 с батарейками и секундомером;
- соединительный кабель длиной 4 м;
- штанга диаметром 20 мм, длиной 3 м из 3-х частей с дециметровой разметкой, рукояткой и пяткой;
- чехол для оснастки.

Дополнительные возможности

- лопасти из искусственного материала с диаметром/шагом 125/0,25, 125/0,50 и 80/0,25;
- лопасти из латуни с диаметром/шагом 125/0,25, 125/0,50, 125/1,00, 80/0,125 и 100/0,125;
- лопасти из алюминия с диаметром/шагом 100/0,25;
- счетный прибор Z30;
- счетный прибор Z215;
- проверка отдельных лопастей в тарировочных каналах фирмы;
- таблица скоростей для отдельных лопастей;
- указатель направления;
- штанга с рукояткой и пяткой с дециметровой разметкой – длина/количество частей 2/4, 2/2, 3/6, 3/3, 4/4, 5/5 и 6/6;

- штанга с рукояткой и пяткой с сантиметровой разметкой – длина/количество частей 2/4, 2/2, 3/3, 4/4, 5/5 и 6/6;
- удлинители длиной 0,5 и 1 м с сантиметровой или дециметровой шкалой;
- труба для позиционирования вертушки без изменения положения штанги – длина/количество частей 2/2, 2/4, 3/3, 4/4 и 5/5;
- ящик для размещения вертушки и оснастки;
- балластный груз 5/10 кг с шиной для подвески;
- стабилизатор длиной 0,8 м для балластного груза 5/10 кг;
- стабилизатор длиной 1,4 м для балластного груза 5/10 кг;
- инструментальная касса;
- устройство для крепления корпуса вертушки к средней части стабилизатора;
- средняя часть стабилизатора с датчиком касания грунта весом 25/50/100 кг (для скоростей до 3/3, 5/6 м/с) с транспортным ящиком.

4.2. Стационарные гидрогеологические наблюдения

Изучению режима и баланса подземных вод отводится весьма важная роль в комплексе гидрогеологических исследований, выполняемых при решении самых разнообразных народнохозяйственных задач.

Стационарные гидрогеологические наблюдения с целью изучения режима и баланса подземных вод позволяют дать количественную характеристику процессов формирования подземных вод, выявить основные закономерности пространственно-временного изменения их состава и свойств в целях рационального использования и охраны подземных вод.

Режимные наблюдения обеспечивают не только высокую достоверность и обоснованность выполняемых инженерных прогнозов, но и значительное повышение экономической эффективности гидрогеологических исследований.

Под режимом подземных вод понимают изменчивость в пространстве и времени гидрогеологических показателей (уровней, расходов, скоростей, температуры, химического, газового и бактериологического состава), отражающих процесс формирования подземных вод.

Режим подземных вод в зависимости от характера определяющих его явлений и факторов может быть естественным (формируется под действием комплекса естественных факторов – геологических, климатических, гидрогеологических и др.), нарушенным (создается главным образом под влиянием техногенной деятельности) и смешанным, формирующимся под влиянием комплексного воздействия природных и искусственных факторов.

Изучение режима подземных вод позволяет определять:

1) необходимые для прогнозов связи и зависимости элементов режима (уровни, состав, температуру и др.), отличные от природных и искусственных

факторов; 2) отдельные элементы водного баланса, используемые при обосновании водохозяйственных мероприятий и водно-балансовых расчетах; 3) характер и степень влияния техногенной деятельности на подземные воды и связанные с изменением их режима явления и процессы (для обоснования рационального управления режимом подземных вод, их государственного использования и охраны).

Изучение режима подземных вод осуществляется путем стационарных гидрогеологических наблюдений за изменением основных элементов режима по специально оборудуемой сети наблюдательных пунктов (скважин, колодцев, родников).

В конструктивном отношении наблюдательные водопункты должны отвечать всем требованиям, предъявляемым к режимным пунктам (исключение загрязнения и прямого попадания атмосферных осадков, возможность отбора проб воды, замера уровня и температуры, ремонта и т.д.).

Замеры уровня подземных вод производят электроуровнемером или механическим уровнемером типа «хлопушка» (точность замера ~ 1 см). Замеры выполняются от уреза оголовка (патрубка) скважины и приводятся относительно земной поверхности (в метрах).

Пробы воды отбираются с помощью специальных пробоотборников после предварительной прокачки наблюдательных скважин или непосредственно на изливе в эксплуатационных водозаборных скважинах и родниках.

Замер температуры осуществляют либо непосредственно в скважинах (используется «ленивый» термометр), либо, при неглубоком залегании уровня, сразу же после отбора воды из скважины в специальной емкости с помощью обычного водяного термометра (в градусах Цельсия).

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

В период прохождения учебно-полевой практики студенты проводят режимные наблюдения за уровнем подземных вод (УПВ) в наблюдательных скважинах. Частота наблюдения – два раза в сутки (утро, вечер). Результаты наблюдений представляют в табличном и графическом виде.

Параллельно с наблюдением за УПВ дается характеристика погоды.

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 данным гидрометрических наблюдений за расходами р. Усманка.

Образец таблицы результатов режимных гидрогеологических наблюдений (номер скважины – 3н; высота оголовка (патрубка) – 0,6 м)

Наблюдательная скважина № 3н	Время наблюдений					
	1.06.03 утро	1.06.03 вечер	2.06.03 утро	2.06.03 вечер	3.06.03 утро	3.06.03 вечер
Глубина залегания УПВ, м	0,75	0,75	0,80	0,85	0,80	0,75
Характеристика погоды (температура воздуха, облачность, атмосферные осадки)	T = 14°C, облачно	T = 16°C, дождь	T = 15°C, дождь	T=18°C, облачно	T=18°C, ясно	T=19°C, ясно
Расход реки, м ³ /с	1,10	1,20	1,30	1,40	1,40	1,30

Материалы и оборудование: уровнемер, мерная рулетка, линейка, журнал, ключ крышки скважины.

4.3. Гидрохимические исследования

В период прохождения учебной практики химические анализы отобранных проб поверхностных и подземных вод выполняются полевыми методами. Под полевым методом подразумевается такой метод, который может применяться непосредственно в полевых условиях, при отсутствии водопровода, централизованных источников электроэнергии, стационарных и специально оборудованных лабораторных помещений.

Большинство полевых методов определения показателей качества воды являются химическими, так как позволяют определить содержание химических компонентов в составе воды и основаны на химико-аналитических реакциях. Перед тем как приступить к анализу воды химическими методами, необходимо познакомиться с требованиями к выполнению анализов и практически освоить основные аналитические операции. Для этого в лабораторных условиях в рамках читаемой дисциплины «Химия окружающей среды» проводится обучение студентов приемам работы.

Для проведения полевых гидрохимических исследований берутся готовые оборудование и материалы, поэтому используемые при выполнении анализа растворы, реактивы, посуда и другие компоненты комплекта должны быть предварительно осмотрены. При осмотре проверяют:

– целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;

- соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде, контрольных шкал;
- отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и др.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в укладочные контейнеры. Затруднения при закрывании контейнеров обычно свидетельствуют о небрежности при укладке.

Условия применения полевых методов определения могут быть приняты следующие:

температура анализируемой воды, °С	15–25
температура воздуха, °С	5–30
относительная влажность воздуха и атмосферное давление	не ограничены

Ограничения по температуре воды и воздуха не распространяются на условия отбора проб. Таким образом, при выполнении анализов температура проб должна контролироваться, так как она является фактором, способным повлиять на результат измерения концентрации и нарушить правильность измерений.

Показатели химического состава воды могут определяться непосредственно в отобранных пробах различными методами: визуальным, органолептическим, титриметрическим, турбидиметрическим и расчетным.

При анализе визуальным, органолептическим и турбидиметрическим методами (определение запаха, вкуса, цветности, мутности, концентрации сульфат-анионов) выполняющий анализ должен уметь корректно определять вкус, запах, цвет, степень мутности, используя собственные вкусовые ощущения, обоняние и зрение.

Визуальные и органолептические методы

Определение мутности

Стеклянную пробирку высотой 10–12 см наполняют исследуемой водой почти доверху, ставят ее на черную бумагу и, глядя сверху, отмечают результаты наблюдений.

Различают следующие степени мутности:

- 1) прозрачная;
- 2) слабо опалесцирующая;
- 3) опалесцирующая;
- 4) слабо мутная;
- 5) мутная;
- 6) очень мутная.

Определение цветности

Определение цветности производят только в прозрачной воде. Если же вода не прозрачна, ее фильтруют. Стеклянную пробирку высотой 10–

12 см наполняют исследуемой водой доверху, ставят в компаратор – мутномер и, рассматривая сверху на белом фоне, делают визуальную оценку цветности.

Различают следующую цветность:

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

Определение запаха

Для определения запаха наполняют колбу (250–500 мл) водой на 1/3 объема, закрывают ее пробкой, взбалтывают содержимое колбы вращательным движением руки, затем вынимают пробку и сразу нюхают. Запах различают по характеру и интенсивности. Характер запаха выражают описательно: без запаха, сероводородный, болотный; гнилостный и т.п. Интенсивность запаха оценивают по следующей шкале:

Балл	Интенсивность	Описательное определение
0	Нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах обычно не замечаемый, но обнаруживаемый опытным наблюдателем
2	Слабый	Запах обнаруживаемый, если на него обратить внимание потребителя
3	Заметный	Запах, который легко обнаруживается и может вызывать неодобрительную оценку воды
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание
5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду не пригодной для питья

Определение вкуса

Вкус воды определяют при условии отсутствия подозрений на ее загрязненность. При определении вкуса воду набирают в рот небольшими порциями и задерживают на 3–5 секунд, не проглатывая. Отмечают 4 вкуса вод: (соленый, кислый, горький, сладкий). Остальные вкусовые ощущения считаются привкусами (солонватый, горьковатый, металлический, хлорный и т.п.).

Колориметрические методы

Определение pH и ионов Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; NH_4^+ ; NO_2^- ; NO_3^- , а также кислорода и сероводорода выполняют колориметрическими методами путем сравнения образующейся в результате реакции окраски воды со стандартными шкалами, окрашенными на пленке. Сравнение окрасок производят в компараторе на белом фоне, рассматривая пробирки сверху или сбоку. Для этого в две стандарт-

ные пробирки наливают исследуемую воду до метки 5 мл. В одну пробирку прибавляют необходимые реактивы, вторая служит компенсатором. Пробирки помещают в компаратор, и через известный промежуток времени сзади или снизу компаратора прикладывают стандартную шкалу таким образом, чтобы ее окрашенная сторона приходилась против гнезда с пробиркой-компенсатором. Шкалу передвигают до тех пор, пока цвет раствора не совпадет с одним из ее эталонов.

На каждом эталоне обозначены цифры, соответствующие количеству Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; NH_4^+ ; NO_2^- ; O_2 , H_2S в мг на 1 л ($дм^3$) воды и абсолютному значению рН.

Когда интенсивность окраски раствора находится между двумя соседними эталонами, берут среднее значение.

Определение рН

рН определяют с помощью универсального индикатора, состоящего из смеси двух индикаторов: бромтимолового синего и метилового красного. Универсальный индикатор дает возможность определить рН в пределах от 4,0 до 8,2 с точностью до 0,1–0,2 рН.

Определение производят следующим образом. В пробирку наливают исследуемую воду до метки, соответствующей 5 мл, прибавляют пипеткой-капельницей 3–4 капли (около 0,1 мл) раствора универсального индикатора, перемешивают жидкость и сразу же колориметрируют, рассматривая сверху. Если раствор в пробирке окажется более ярким, чем крайний зеленый эталон шкалы, записывают результат: $pH > 8,2$. Во всех остальных случаях записывают то значение рН исследуемой воды, которое обозначено на эталоне, совпавшем по окраске с окраской раствора в пробирке, или среднее значение между двумя эталонами.

Определение иона окисного железа (Fe^{3+})

Исследуемую воду наливают в колориметрическую пробирку до метки 5 мл, прибавляют мерник (около 0,1 г) кислого серно-кислого калия и пипеткой-капельницей 3–4 капли (около 0,1 мл) 50%-ного раствора роданистого калия. Раствор взбалтывают и через 3 мин колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сверху.

Колориметрическая шкала составлена для следующих значений окисного железа (Fe^{3+}) в мг/л: 0,3; 0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0.

Если окраска жидкости окажется интенсивнее самого яркого эталона, раствор колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сбоку. В этом случае полученный результат утраивают.

Определение иона закисного железа (Fe^{2+})

Вначале определяют сумму окисного и закисного железа. Исследуемую воду наливают в колориметрическую пробирку до метки 5 мл, прибавляют мерник (около 0,1 г) кислого серно-кислого калия и несколько крупинок надсерно-кислого калия. Перемешивают содержимое пробирки и прибавляют пи-

петкой-капельницей 3–4 капли (около 0,1 мл) 50%-ного раствора роданистого калия. Далее проводят определение так же, как окисного железа. Количество иона Fe^{2+} находят вычитанием из найденного результата.

В том случае, если количество закисного железа превышает 4–5 мг/л, проводят повторное определение с реактивом – красной кровяной солью.

Исследуемую воду наливают в колориметрическую пробирку до 5 мл, прибавляют мерник (около 0,1 г) кислого серно-кислого калия и мерник красной кровяной соли (около 0,1 г). Перемешивают и колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сбоку.

Колориметрическая шкала составлена для следующих значений Fe^{2+} :

мг/л	0	2	4	6	8	10
мг-экв/л	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36

Определение нитрит-иона (NO_2^-)

Исследуемую воду наливают в пробирку до метки 5 мл и прибавляют мерник (около 0,05 г) реактива Грисса. Раствор взбалтывают до растворения реактива и через 15–20 мин колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сверху.

Колориметрическая шкала составлена для следующих значений нитрит-иона (NO_2^-) в мг/л: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.

Если окраска жидкости окажется интенсивнее самого яркого эталона, раствор колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сбоку, и полученный результат утраивают. Если и при рассматривании сбоку окраска окажется ярче крайнего эталона, определение повторяют из новой пробы, предварительно разбавленной в несколько раз дистиллированной водой.

Примечание: в процессе выполнения определения нитрит-иона требуется довольно продолжительное (15–20 мин) выстаивание воды после добавления реактива. Чтобы не задерживать из-за этого выполнение всего анализа, целесообразно начинать анализ у водоисточника с определения NO_2^- (и NO_3^- – см. ниже), используя для этой цели третью – запасную колориметрическую пробирку.

Определение иона аммония (NH_4^+)

Исследуемую воду наливают в пробирку до метки 5 мл, всыпают мерник (около 0,05 г) сегнетовой соли, взбалтывают содержимое пробирки до растворения кристаллов и прибавляют пипеткой-капельницей 3–4 капли (около 0,1 мл) реактива Несслера. Раствор снова взбалтывают и через три минуты колориметрируют, рассматривая содержимое пробирки сверху.

Колориметрическая шкала составлена для следующих значений иона аммония (NH_4^+) в мг/л: 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,7; 1,0; 1,5.

Если окраска жидкости окажется интенсивнее самого яркого эталона, раствор колориметрируют, рассматривая содержимое про-

бирки сбоку. В таких случаях полученный результат утраивают. Если и при рассматривании сбоку окраска окажется ярче крайнего эталона, определение повторяют из новой пробы, предварительно разбавленной в несколько раз дистиллированной водой.

Определение нитрат-иона (NO_3^-)

Определение основано на восстановлении в щелочном растворе нитрат-иона с помощью сплава Дебарда до иона NH_4^+ и колориметрическом определении последнего с реактивом Несслера. Определению NO_3^- предшествует определение NH_4^+ . Из полученного после восстановления NO_3^- результата определения NH_4^+ вычитают количество NH_4^+ , содержащегося в воде.

В полиэтиленовый баллончик емкостью 20–25 мл наливают около 10 мл (примерно половину баллончика) исследуемой воды. Прибавляют пипеткой-капельницей 15–17 капель (около 0,5 мл) 25%-ного раствора едкого натра (NaOH) и прибавляют мерник (около 0,1 г) сплава Дебарда. Оставляют баллончик не менее чем на 30–40 минут (пробкой закрывать нельзя).

После выстаивания отливают жидкость, не взмучивая осадка, в колориметрическую пробирку до метки 5 мл и производят определение иона аммония, как указано выше.

Количество NO_3^- в мг/л (х) рассчитывают по формуле

$$X = (a - b) \cdot 3,4,$$

где а – содержание NH_4^+ , найденное при определении NO_3^- ; мг/л; б – содержание NH_4^+ в исследуемой воде, мг/л; 3, 4 – коэффициент пересчета NH_4^+ в NO_3^- . Полученный результат округляют до целых чисел.

Примечание: учитывая, что в процессе выполнения определения NO_3^- пробе приходится относительно долго стоять, целесообразно выполнение анализа начинать с определения (см. выше) NO_3^- и NO_2^- .

Титриметрические (объемные) и турбидиметрические методы

Определение общей жесткости, двуокиси углерода, ионов CO_3^{2-} ; HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} выполняют титриметрическими методами; определение SO_4^{2-} выполняют турбидиметрическим методом.

Сущность титриметрического, или объемного, метода анализа заключается в измерении объема реактива, затраченного на реакцию с измеряемым компонентом.

Турбидиметрические определения основаны на измерении степени мутности раствора, получающейся в результате образования нерастворимой соли при взаимодействии определяемого иона с прибавляемым реагентом.

Степень мутности измеряется двумя способами. Первый заключается в сравнении с образованной в результате реакции мути со стандартной турбидиметрической шкалой. Второй способ основан на измерении мути в мутно-

мерной пробирке, представляющей собой пробирку (с внутренним диаметром $113 + 0,3$ мм) из белого стекла с черным крестом (точкой) на дне. Мутный раствор в такой пробирке рассматривают сверху и отбирают его до тех пор, пока не появится изображение креста (черной точки) на дне пробирки. Очевидно, что высота раствора, при которой делается видимым изображение креста, находится в определенной зависимости от интенсивности муты, а последняя, от концентрации определяемого иона. Эта зависимость, изученная экспериментально, представляется в виде таблицы, в одной графе которой показаны высоты раствора, а в другой – соответствующие высотам содержания искомого компонента.

Определения выполняют в прозрачной воде при дневном освещении.

Турбидиметрические методы определения дают приемлемые результаты только для определения сравнительно небольших концентраций ионов.

Для обеспечения правильных результатов объемных определений необходимо:

1. Точно отмерять объем воды, отбираемой на определение; прибавлять титрованный раствор по каплям при постоянном перемешивании исследуемого раствора; выпускать из пипетки не более одной капли в 2–3 секунды.

2. Внимательно следить за изменением цвета титруемого раствора, не допуская прибавления излишка реактива.

Титрованные растворы готовят такой концентрации, которая наиболее рациональна для проведения работ (предполагаемая минерализация вод, цель проводимых исследований и т.п.). Концентрацию принято выражать в виде нормальности, т.е. количества грамм-эквивалентов вещества, растворенного в одном литре раствора.

Расчет содержания определяемого вещества производится по формуле

$$C = V_1 \cdot N \cdot \Xi \cdot 1000/V,$$

где V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл; V_1 – объем реактива, израсходованный на титрование, мл; N – нормальность применяемого титрованного раствора; Ξ – эквивалентный вес определяемого вещества; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерений из г/л в мг/л.

Результаты определений выражают в мг/л или в мг/дм³, округляют до целых чисел.

Определение карбонат-иона (CO_3^{2-}) и гидрокарбонат-иона (HCO_3^-)

В стеклянную пробирку наливают воду до метки 10 мл, добавляют 3 капли раствора фенолфталеина и взбалтывают.

В присутствии иона CO_3^{2-} вода окрасится в розовый цвет.

Воду титруют раствором соляной кислоты (0,05н) до обесцвечивания и определяют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование.

Для определения гидрокарбонат-иона (HCO_3^-) в пробирку наливают воду до метки, соответствующей 10 мл, либо используют раствор после определения карбонат-иона; прибавляют 2 капли индикатора метилового оранжевого, взбалтывают. Раствор окрасится в желто-оранжевый цвет. Постепенно воду титруют раствором соляной кислоты (0,05н) с помощью мерной пипетки до перехода желтой окраски в ярко-розовую при постоянном перемешивании. Определяют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование.

Содержание CO_3^{2-} в мг/л рассчитывают по формуле

$$C_{\text{к}} = V_{\text{к}} \cdot N \cdot 30 \cdot 1000/V.$$

Содержание HCO_3^- в мг/л рассчитывают по формуле

$$C_{\text{гк}} = V_{\text{гк}} \cdot N \cdot 61 \cdot 1000/V,$$

где $V_{\text{к}}$ и $V_{\text{гк}}$ – объемы раствора соляной кислоты, израсходованные на титрование карбонатов и гидрокарбонатов соответственно, мл; V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл; N – нормальность применяемого титрованного раствора; 30 и 61 – эквивалентный вес карбонат-иона и гидрокарбонат-иона соответственно; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерений.

Определение хлорид-иона (Cl^-)

В пробирку наливают воду до метки, соответствующей 10 мл, добавляют пипеткой-капельницей 3 капли раствора хромата калия, встряхивают, чтобы перемешать. Постепенно воду титруют при постоянном перемешивании 0,05н раствором нитрата серебра (AgNO_3) до перехода желтой окраски жидкости в буроватую. Определяют объем раствора нитрата серебра, израсходованный на титрование.

Содержание Cl^- в мг/л производят по формуле

$$C = V_1 \cdot N \cdot 35,5 \cdot 1000/V,$$

где V_1 – объем раствора нитрата серебра, израсходованный на титрование хлоридов, мл; V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл; N – нормальность применяемого титрованного раствора; 35,5 – эквивалентный вес Cl^- ; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерений.

Примечания: 1) если вода солоноватая на вкус или на титрование 10 мл воды, идет больше 15–20 капель раствора AgNO_3 , определение выполняют, отбирая на титрование только 1 мл воды; 2) раствор азотно-кислого серебра, помещаемый в основном футляре лаборатории в полиэтиленовую капельницу, постепенно разлагается с выделением тонкой взвеси металлического серебра черного цвета. Небольшое почернение раствора еще позволяет им пользоваться без существенных ошибок в анализе. Однако держать раствор азотно-кислого серебра в полиэтиленовой капельнице более чем 2–3 недели не рекомендуется.

Определение общей жесткости

Анализ проводят в щелочной среде (рН 10–10,5; буферный раствор). В емкость объемом 50 мл наливают 10 мл воды, добавляют 6–7 капель раствора буферного аммиачного и мерник (около 0,1 г) индикатора на жест-

кость (ЕТ-00). Жидкость перемешивают. Раствор должен приобрести вишнево-красную окраску. Постепенно воду титруют раствором трилона Б (0,05н) до перехода окраски сначала в фиолетовую, а потом в ярко-голубую.

Расчет общей жесткости в ммоль/л производят по формуле

$$C = V_1 \cdot N \cdot 1000/V,$$

где V_1 – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование общей жесткости, мл; V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл; N – нормальность применяемого титрованного раствора; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерений.

Примечание: 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+})

В емкость объемом 50 мл наливают 10 мл воды, добавляют 10–16 капель 25%-ного раствора едкого натра (NaOH) и мерник (около 0,1г) смеси индикатора мурексида с NaCl. Жидкость перемешивают. Постепенно пробу титруют раствором трилона Б (0,05н) до перехода окраски раствора в фиолетовую.

Расчет содержания Ca^{2+} в мг/л производят по формуле

$$C = V_1 \cdot N \cdot 20 \cdot 1000/V,$$

где V_1 – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование иона кальция, мл; V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл; 20 – эквивалентный вес Ca^{2+} ; N – нормальность применяемого титрованного раствора; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерений.

Примечание: Если на титрование расходуется больше 20 капель трилона Б, испытуемую воду разбавляют в несколько раз дистиллированной водой и повторяют определение из 10 мл разбавленной воды. При вычислении результатов учитывают величину разбавления.

Определение иона магния (Mg^{2+})

Для вычисления количества Mg^{2+} в мг/л, определенное в воде содержание Ca^{2+} пересчитывают в мг-экв/л и вычитают из общей жесткости. Полученную разность умножают на 12,2 и округляют до целых чисел.

Определение сульфат-иона (SO_4^{2-})

Определение можно проводить только в прозрачной воде. Если вода мутная, ее фильтруют. В ряде случаев простое фильтрование бывает неэффективно. Тогда добавляют в воду мерник (около 0,25 г) хлористого аммония на 10 мл воды и оставляют на 10–15 минут (если имеется возможность, пробу подогревают). Взвесь при этом коагулируется и легко фильтруется. При дальнейшем определении SO_4^{2-} хлористый аммоний прибавлять уже не нужно.

В мутномерную пробирку наливают исследуемую воду до метки 100 мм (20–30 мл), добавляют 2 капли раствора соляной кислоты и мерник (около 0,05 г) азотно-кислого бария; затем раствор перемешивают. Пробирку встав-

ляют в одно гнездо полевого мутномера и через 5–10 минут повторно перемешивают и наблюдают образовавшееся помутнение.

Если содержание иона SO_4^{2-} меньше 25 мг/л крест (черная точка) на дне пробирки будет виден. В этом случае сравнивают интенсивность полученного помутнения со стандартной пленочной турбидиметрической шкалой.

Сравнение проводят следующим образом: в свободное гнездо мутномера вставляют вторую мутномерную пробирку с испытуемой водой, налитой до высоты 100 мм. На эту пробирку накладывают стандартную пленочную шкалу и подбирают на ней эталон, соответствующий образовавшейся мути.

Турбидиметрическая шкала составлена для следующих концентраций SO_4^{2-} (мг/л): 0; 4; 8; 12; 16; 20.

Если содержание иона SO_4^{2-} больше 25 мг/л, крест (черная точка), нанесенный на дно пробирки, не просвечивается. В этом случае в свободное гнездо мутномера вставляют пустую мутномерную пробирку. Дно мутномерных пробирок должно находиться на расстоянии около 2 см от стеклянного экрана, что достигается регулировкой резиновых колец, надетых на пробирку.

Жидкость в пробирке вновь перемешивают и отбирают из нее пипеткой раствор в пустую пробирку до тех пор, пока на дне пробирки не появится едва заметное изображение креста (черной точки). После этого прибавляют несколько капель жидкости, пока изображение на дне пробирки не скроется. Высоту столба жидкости в пробирке измеряют, и по таблице находят количество SO_4^{2-} .

Если высота раствора в пробирке будет меньше 40 мм, воду разбавляют и повторяют определение так же, как было описано выше.

Полученный результат умножают на величину, соответствующую разбавлению. Например, если вода была разбавлена в два раза, результат определения увеличивается вдвое и т.п.

Таблица для вычисления содержания SO_4^{2-}

Высота столба жидкости, мм	Содержание сульфат-иона, мг/л
100	33
95	35
90	38
85	40
80	42
75	45
65	50
60	53
55	56
50	59
45	64
40	72

Обработка результатов химического анализа воды

Данные химического анализа воды выражаются в определенной форме и систематизируются с целью классификации подземных вод. Химическая классификация подземных вод 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 формы (мг/л) в миллиграмм-эквивалентную (мг-экв/л).
2. Вычислить содержание магния в миллиграмм-эквивалентной и весовой форме, используя данные общей жесткости.
3. Вычислить содержание натрия в миллиграмм-эквивалентной и весовой форме.
4. Определить раздельное содержание катионов и анионов в %-экв/л.
5. Классифицировать воду, принимая во внимание величину общей минерализации и ионный состав.
6. Оценить воду по степени жесткости, используя классификацию Алекаина.
8. Выразить химический состав воды формулой Курлова.
9. Графически изобразить состав воды, используя график-прямоугольник Роджерса.
11. Оценить пригодность воды для питья.

1. Пересчет анализа из весовой формы (мг/л) в миллиграмм-эквивалентную (мг-экв/л)

Для вычисления количественных соотношений между ионами результаты анализа должны быть представлены в миллиграмм-эквивалентной форме, так как ионы реагируют между собой в эквивалентных количествах.

Последнее обстоятельство дает возможность вычислить содержание одного из ионов по разности между суммой катионов и анионов. Эквивалентная форма упрощает определение жесткости воды и позволяет проверять правильность выполнения анализа.

Пересчет из весовой формы в миллиграмм-эквивалентную осуществляется делением числа миллиграммов каждого иона на эквивалентный вес иона (ионный вес, деленный на валентность).

2. Вычисление содержания магния в миллиграмм-эквивалентной и весовой форме

Содержание Mg^{2+} в воде определяется по разности между величиной общей жесткости и содержанием Ca^{2+} в мг-экв форме. После этого количество мг-экв Mg^{2+} необходимо перевести в весовую форму (рассчитать содержание

Mg²⁺ в мг/л), для чего надо полученное по разности количество мг-экв Mg²⁺ умножить на эквивалентный вес (ионный вес, деленный на валентность).

3. Вычисление содержания натрия в миллиграмм-эквивалентной и весовой форме

Во всяком водном растворе количество эквивалентов катионов равняется количеству эквивалентов анионов, так как электролиты диссоциируют в водных растворах на эквивалентное число катионов и анионов. Учитывая это и пользуясь данными анализа, выраженными в эквивалентной форме, можно расчетным путем находить такие весьма трудоемкие для определения компоненты, как Na и K (суммарно).

Например, если исследуемая вода содержит:

мг-экв/л	мг-экв/л
HCO ₃ ⁻ – 2,5	Ca ²⁺ – 2,0
SO ₄ ²⁻ – 0,5	Mg ²⁺ – 0,8
<u>Cl⁻ – 0,1</u>	<u>(Na + K) – x</u>
Итого: 3,1	Итого: 2,8 + x, то x (Na + K) = 3,1 – 2,8 = 0,3 мг-экв/л.

После чего вычислить содержание (Na + K) в мг/л методом, указанным в пункте 2.

4. Определение отдельного содержания катионов и анионов в процент-эквивалентной форме (%-экв)

Необходимо получить представление о доле участия каждого из ионов в общем количестве растворенных в воде веществ. С этой целью результаты анализов пересчитываются в процент-эквивалентную форму. Процентное содержание миллиграмм-эквивалентов иона находится следующим образом: каждую из вычисленных сумм миллиграмм катионов и анионов принимают за 100 % и определяют процентное содержание каждого иона по следующей формуле:

$$X = \frac{100 A(\text{или } K)}{\sum A(\text{или } K)}$$

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 (классификация В. И. Вернадского) воды подразделяются следующим образом, М (г/л)
пресные воды – до 1;

соленоватые воды – 1–10;
 соленые воды – 10 – 50;
 рассолы – более 50.

При наименовании химического состава воды учитывают анионы и катионы, содержание которых составляет более 20 %-экв; перечисление ионов производят в порядке возрастания концентраций компонентов.

Например, для воды, имеющей следующий состав:

%-ЭКВ	%-ЭКВ
$\text{HCO}_3^- - 10$	$\text{Ca}^{2+} - 15$
$\text{SO}_4^{2-} - 30$	$\text{Mg}^{2+} - 5$
<u>$\text{Cl}^- - 60$</u>	<u>$\text{Na}^+ - 80$</u>
$\Sigma = 100$ %-ЭКВ	$\Sigma = 100$ %-ЭКВ

Тип воды – сульфатно-хлоридный натриевый.

6. Характеристика химического состава воды по степени жесткости (по классификации О. А. Алекина)

По величине общей жесткости О. А. Алекин предложил подразделять воды следующим образом:

МГ-ЭКВ/Л
очень мягкая – до 1,5;
мягкая – 1,5 – 3,0;
умеренно жесткая – 3,0 – 6,0;
жесткая – 6,0 – 9,0;
очень жесткая – более 9,0.

7. Изображение результатов химических анализов воды

Наиболее просто и наглядно изображать химический состав подземной воды в виде формулы Курлова.

Формула Курлова представляет собой псевдодробь, в числителе которой в убывающем порядке в процентах эквивалентов находятся анионы в убывающем порядке их содержания; в знаменателе – в таком же порядке катионы. Слева от дроби указывается минерализация воды до первого десятичного знака (г/л), справа – температура воды (°С), реакция воды рН, дебит скважины или источника (м³/сут).

Полная запись формулы Курлова имеет вид:

$$M\ 2,5 \frac{\text{HCO}_3\ 59\ \text{SO}_4\ 29\ \text{Cl}\ 12}{\text{Ca}\ 60\ \text{Mg}\ 25(\text{Na} + \text{K})\ 15} T\ 14\ \text{pH}\ 6,8\ Д\ 10.$$

Графически изображать химический состав воды удобно в виде графика – прямоугольника, который состоит из двух вертикальных граф. В графе, расположенной слева, снизу вверх откладывают процент-эквивалентное содержание катионов. В графе, расположенной справа, изображают процент-эквивалентное содержание анионов в порядке их убывающей активности: К⁺,

Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . В сумме каждая графа представляет 100 % - экв.

Результаты обработки химического анализа воды представляются на специальном бланке (приложение).

Оценка качества воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения

Вода, используемая для хозяйственно-питьевого водоснабжения, должна удовлетворять требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». В СанПиН приведены предельные нормы для питьевой воды: 1) физических свойств и химических показателей; 2) токсических веществ; 3) бактериальных показателей (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Извлечения из требований (СанПиН 2.1.4.1074-01)

Показатели	Единицы измерения	ПДК
<i>Физические и обобщенные показатели</i>		
Запах и привкус при 20°C	балл	2
Общая минерализация	г/л	1,0
Водородный показатель	единицы рН	6,0–9,0
Жесткость общая	мг-экв/л	7
Окисляемость перманганатная	мг/л	5
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1
ПАВ	мг/л	0,5
<i>Неорганические вещества</i>		
Хлориды (Cl^-)	мг/л	350
Сульфаты (SO_4^{2-})	-“-	500
Нитраты (NO_3^-)	-“-	45
Нитриты (NO_2^-)	-“-	3,3
Аммоний (NH_4^+)	-“-	2,0
Натрий (Na^+)	-“-	200
Железо (Fe^{2+} - Fe^{3+})	-“-	0,3
Марганец (Mn)	-“-	0,1
Медь (Cu)	-“-	1,0
Молибден (Mo)	-“-	0,25
Никель (Ni)	-“-	0,02
Ртуть (Hg)	-“-	0,0005
Свинец (Pb)	-“-	0,01

Используя данные, приведенные в табл. 9, студентам необходимо дать заключение о качестве подземных вод территории исследований.

Библиографический список

1. *Быков В. Д.* Гидрометрия / В. Д. Быков, А. В. Васильев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 304 с.
2. Гидрогеологические исследования водоемов Среднерусской лесостепи / Труды лаборатории биоразнообразия и мониторинга наземных и водных экосистем Среднерусской лесостепи. – Воронеж, 2002. – Т. 1. – 57 с.
3. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 30 с.
4. *Климентов П. П.* Методика гидрогеологических исследований / П. П. Климентов, В. М. Кононов. – М. : Высшая школа, 1989. – 406 с.
5. *Лучшева А. А.* Практическая гидрология / А. А. Лучшева. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – 234 с.
6. Методическое пособие по изучению горных пород. – М. : Недра, 1984. – Т. 1. – 423 с.
7. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород / под ред. Е. М. Сергеева : в 2 т. – М. : Недра. – Т. 1 : Полевые методы. – 1984. – 432 с.
8. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод / под ред. В. М. Гольдберга. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1980. – 46 с.
9. Методические рекомендации по проведению наблюдений за режимом подземных вод по ведомственной сети скважин. – Днепропетровск : ИМР, 1986. – 48 с.
10. Методические указания к лабораторным работам по грунтоведению / И. И. Косинова, А. Н. Вахтанова. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1997. – 29 с.
11. *Муравьев А. Г.* Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами / А. Г. Муравьев. – СПб. : Крисмас, 1999. – 258 с.
12. Полевые практики геологического факультета Воронежского государственного университета : пособие / под ред. В. М. Ненахова, Ю. Н. Стрика. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 352 с.
13. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : Санитарные правила и нормы. – М. : Информ.-издат. центр Госкомэпиднадзора России, 2001.
14. *Смирнова А. Я.* Аналитические исследования в гидрогеологии / А. Я. Смирнова, С. П. Пасмарнова. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2011. – 31 с.
15. СП-11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ / Госстрой России. – М. : ПНИИС Госстроя России, 1997. – 47 с.
16. *Чаповский Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чаповский. – М. : Недра, 1978. – 296 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОДЫ

№ точки наблюдения (по полевому дневнику) _____

№ пробы (по полевому дневнику) _____

Наименование водопункта _____

Водоносный горизонт _____

Дата отбора пробы _____

Физические свойства воды

Температура воды _____ Прозрачность _____

Цвет _____ Запах _____ Вкус _____

Химические свойства воды

	ионы	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	%-экв/дм ³
К а т и о н ы				
сумма				
а н и о н ы				
сумма				
общая сумма				

Диаграмма химического состава воды		
катионы	анионы	
		100 %
		90 %
		80 %
		70 %
		60 %
		50 %
		40 %
		30 %
		20 %
		10 %
		0 %

Минерализация _____ рН _____ Общая жесткость _____

Формула Курлова

Химический тип воды _____

Анализ воды произвел _____

Учебное издание

МЕТОДЫ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Учебно-методическое пособие
по специальной практике*

Редактор *М. Г. Щигрёва*

Компьютерная верстка *О. В. Нагаевой*

Подписано в печать 02.04.2014. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 3,1. Тираж 50 экз. Заказ 315

Издательский дом ВГУ
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10

Отпечатано в типографии Издательского дома ВГУ
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3