ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ЦНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР

Москва Стройиздат 1986

УДК 624.131.1 : 551.448 (210.5) (262.5)

Рекомендованы к изданию Адлерской секцией Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР/ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 64 с.

Даны рекомендации по комплексной оценке природных условий распространения и формирования карстовых полостей и подземных вод карстовых массивов. Приведены результаты инженерно-геологических и карстолого-спелеологических изысканий карстовых областей, использования подземных карстовых полостей, а также предложения по организации дальнейших исследований условий освоения подземного пространства.

Для инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

Табл. 8, ил. 7.

Разработаны ПНИИИС Госстроя СССР (канд.геол.-минерал. наук В.И.Клименко, инж. Н.В.Шулик) и Государственным Симферопольским университетом (д-р геол.-минерал. наук В.Н.Дублянский).

Р 3202000000-474 -- Инструкт.-нормат., 1 вып.–41– 85

047 (01) – 86

© Стройиздат, 1986

ВВЕДЕНИЕ

Масштабы строительного освоения Черноморского побережья СССР значительны. Актуальность строительного освоения, охраны и улучшения геологической среды региона, особенности его уникальных природных условий и народнохозяйственного использования, достаточная геологическая изученность предопределяют необходимость комплексной оценки инженерно-геологических условий осваиваемых территорий, а в дальнейшем – прогноза их изменения при строительном освоении. Это относится прежде всего к средне- и высокогорным районам Черноморского побережья Кавказа.

Перерабатываемые генеральные схемы строительного освоения Черноморского побережья Кавказа предусматривают развертывание гражданского и промышленного строительства от побережья в глубь континента. Строительством будут осваиваться участки инженерно-строительной зоны, в значительной мере сложенной карстующимися карбонатными породами.

В связи с этим в самом начале строительного освоения закарстованных территорий региона, в первую очередь всего Сочинского курортного района, следует дать региональные рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей, направленные на рациональное использование окружающей природной среды, прежде всего геологической среды, при строительном освоении территории.

Такие рекомендации, в дополнение к существующим изданиям [4, 5, 11], позволяют максимально учитывать локальную специфику региона, что будет способствовать повышению эффективности, качества изысканий и строительства на закарстованных территориях, интенсификации использования геологической среды, ее охране и улучшению.

При составлении рекомендаций использованы материалы собственных исследований, литературные источники и другие материалы научно-исследовательских, изыскательских, проектных, строительных, спортивных и других организаций, в частности материалы И.Н.Васильева по изучению тектонической трещиноватости, Б.И.Иванова – по морфологическим методам и геологическим наблюдениям, М.М.Маматкулова – по методам изучения отложений и маршрутных гидрогеологических исследований карстовых полостей.

Настоящие рекомендации распространяются на инженерно-геологические изыскания для проектирования промышленного и гражданского строительства в карстовых районах Черноморского побережья СССР.

Рекомендации не распространяются на изыскания для других видов строительства (гидротехнического, транспортного, горного, мелиоративного и других).

В рекомендациях не рассматриваются методика инженерно-геодезических изысканий, а также вопросы безопасности спелеологических исследований.

Геологическая среда является одним из основных компонентов окружающей природной среды обитания и производственной деятельности человека и поэтому представляет естественно-социальное понятие. Геологическая среда – это верхняя часть литосферы, входящая в состав окружающей среды и состоящая из четырех важнейших компонентов: горных пород (грунтов), подземных вод (зон аэрации и полного насыщения), природных газов, живых организмов (микроорганизмов) [9, 10, 12, 13], которые находятся во взаимодействии. Их взаимное влияние обусловливает необходимость комплексных исследований, наблюдений за изменениями параметров всех этих компонентов при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, при проведении работ, направленных на повышение эффективности использования и охраны геологической среды в целом.

Методические положения, изложенные в настоящих рекомендациях, рассмотрены на базе комплексной оценки природных условий распространения и формирования карстовых областей и подземных вод карстовых массивов Сочинского курортного района как наиболее изученного и перспективного для освоения ключевого опорного участка – района с развитым классическим карбонатным открытым карстом, типичным для всего Черноморского побережья СССР.

1. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРСТОВЫХ МАССИВОВ

Физико-географические условия

1.1. Опорный ключевой карстовый район входит в состав Большого Сочи Краснодарского края РСФСР. Горные массивы Алек, Ахцу, Дзыхра, сложенные преимущественно верхнеюрскими известняками, располагаются примерно в 20 км к северо-востоку от побережья Черного моря, между долинами рек Сочи и Псоу (рис.1). С юго-запада к массиву Ахцу примыкает Воронцовский массив, сложенный в основном меловыми известняками. На южных склонах массива берут начало р. Мацеста, Западная и Восточная Хоста, Кудепста, Псахо. Район пересекает транзитная р. Мзымта. На северных склонах мас-

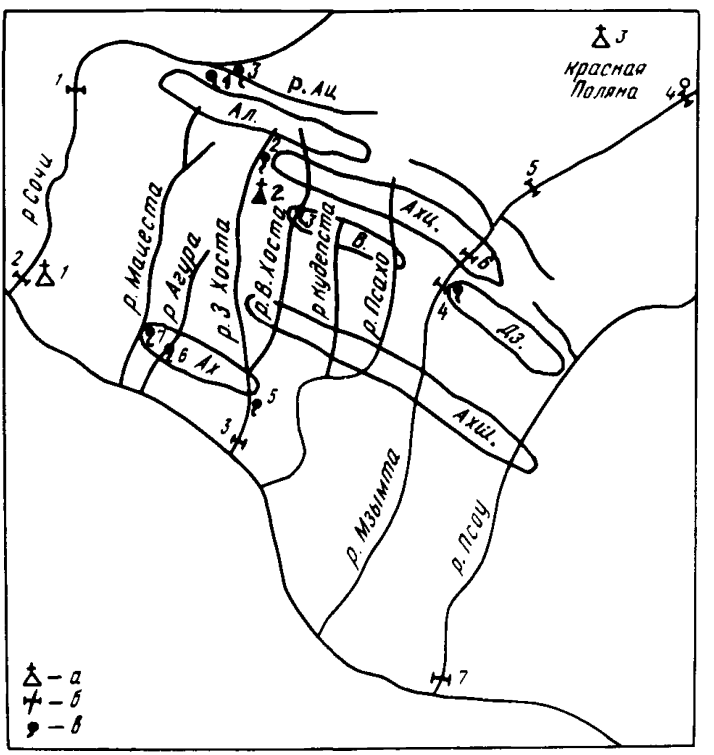


Рис.1. Схема Сочинского курортного района – ключевого опорного карстового района Северо-Западного Кавказа
Карстовые массивы – Ал.–Алек, Ахц.–Ахцу, В–Воронцовский, Дз.–Дзыхра, Ахш.–Ахштырь, Ах.–Ахун; *а* – метеостанции и метеопосты: 1 – г.Сочи; 2 – Калиновое озеро; 3 – Ачишхо; *б* – гидрологические посты: 1 – р.Сочи (Пластунка); 2 – р.Сочи (Город); 3 – р.Хоста (Город); 4 – р.Мзымта (Красная поляна); 5 – р.Мзымта (Греческое ущелье); 6 – р.Мзымта (ущ.Ахцу); 7 – р.Псоу (пос.Лесели-дзе); *в* – крупнейшие карстовые источники: 1 – в устье р.Ац; 2 – Под Шалашом; 3 – "Котел"; 4 – Глубокий яр; 5 – Нижнехостинский; 6 – Агура (пресный и минеральный); 7 – Мацеста (минеральный)

сивов берут начало притоки р. Сочи (р.Ац), Мзымта (р.Кепша, Кеша), Псоу. В гидрогеологическом отношении массивы Алек, Ахцу, Дзыхра, Воронцовский входят в краевую (внешнюю) область питания Сочинского гидрогеологического бассейна.

К юго-западу от этих горных массивов, в 3–10 км от побережья Черного моря, кулисообразно располагаются массивы Ахштырь и Ахун, сложенные главным образом меловыми известняками. Они прорезаны долинами транзитных р. Мацеста, Агура, Кудепста, Псахо, Мзымта, Псоу и входят во внутреннюю область питания Сочинского гидрогеологического бассейна.

1.2. Рельеф района разнообразен. Морфологически его можно подразделить на три зоны: горно-карстовую, холмистых предгорий, приморских низин и аккумулятивных террас. В состав горно-карстовой зоны входят массивы Алек, Ахцу, Дзыхра и Воронцовский. Высотные отметки здесь варьируются в пределах от 300 (в эрозионных врезах) до 1277 м. Из эрозионных форм рельефа широко развиты глубокие, узкие ущелья, узкие водораздельные хребты, развиты карстовые формы. Южнее располагается зона холмистых предгорий, высотой от 30 до 663 м. Это территория развития легко разрушающихся палеогенных некарстующихся отложений, для которой характерны пологие водоразделы, широкие речные долины, густая эрозионная сеть. При пересечении известняковых массивов Ахштырь и Ахун характер долин меняется – здесь они образуют каньоны с отвесными бортами.

Климатические условия

1.3. Определяют возможности развития карста и характер его поверхностных, а иногда и подземных форм. Поэтому следует обращать внимание на те их элементы, которые играют главную роль в формировании региональных особенностей развития карста района. Для характеристики климата используются региональные сводки, а также материалы собственных исследований.

На территории карстовых массивов Сочинского района метеостанции и метеопосты отсутствуют. Данные лишь по трем метеостанциям и метеопостам, расположенным на смежных территориях: Сочи (+12, 1891–1935 гг.), Калиновое озеро (+450, 1891–1935 гг.), Ачишхо (+1180, 1900–1965 гг.). Среднюю многолетнюю величину некоторых климатических элементов (солнечная радиация, температура воздуха, относительная и абсолютная влажность, скорость ветра, количество атмосферных осадков) приближенно можно определить методом интерполяции с учетом площадей массивов, располагающихся на разных абсолютных высотах.

Некоторые климатические элементы нельзя определить методом интерполяции, так как соответствующие наблюдения на метеостанциях Сочинского района никогда не проводились, например характеристики снежного покрова и испарения.

1.4. Суммарная солнечная радиация сильно колеблется в течение года. Минимальные ее значения приходятся на декабрь–январь, максимальные на июнь–июль. Под кроны деревьев попадает около 1/6 суммарного годового притока солнечной радиации к верхней границе полога леса, из них половина – за период вегетации.

Проницаемость полога леса для солнечной радиации зависит от его состава, структуры, сомкнутости, экспозиции и крутизны склона. В безлиственном состоянии преобладающее влияние на проницаемость оказывает структура древостоя, а при наличии листвы – крутизна склона. Для сомкнутых буковых лесов радиационный баланс крон деревьев превышает баланс поверхности почвы почти в 6 раз.

1.5. Температура воздуха испытывает значительные колебания с минимумом в январе (среднемесячная +0,6°С) и максимумом в августе (+18,6°С). Следует иметь в виду, что интерполяцией получена приближенная температура для открытой местности. Полог леса оказывает сглаживающее воздействие на температурный режим, причем наиболее значительно выравнивается суточный ход температуры (на 10–20% зимой и 30–45% летом). Суточные максимумы в лесу в ясные летние дни на 2,3–4,4° ниже, а минимумы – на 2° выше, чем на близлежащей вырубке.

1.6. Относительная влажность воздуха довольно постоянна (71–79%). Абсолютная влажность испытывает четкий годовой ход. Минимальные ее зна-

чения наблюдаются в холодный период (3,2–5,4 мм рт.ст.), а максимальные – в теплый (10–12 мм рт.ст.). Разница во влажности воздуха под пологом леса и на открытых участках невелика: в лесу она ниже на 0,5–0,7 мм рт.ст.

1.7. Средняя месячная скорость ветра на открытых участках колеблется от 1,6 (теплый период) до 3,3 м/с (холодный период). Под пологом леса она значительно меньше и обычно не превышает 0,2–0,4 м/с.

1.8. По данным интерполяции, среднее количество атмосферных осадков, выпадающих на карстовых массивах района, находится в пределах от 1968 (Ахштырский массив) до 2440 мм (массив Ахцу). Осадки распределяются по сезонам года неравномерно. Максимум приходится на декабрь (более 300 мм), минимум – на июль (около 100 мм). В теплый период (май – октябрь) выпадает около 40% осадков, а в холодный (ноябрь – апрель) – около 60%.

1.9. Несмотря на сравнительно высокую среднюю температуру воздуха зимних месяцев, продолжительность периода со снежным покровом на массивах Алек и Ахцу составляет 80–90 дней. Максимальная толщина снежного покрова перед весенним снеготаянием достигает 3–4 м. Снег сходит за 10–15 дней, сохраняясь лишь в карстовых воронках и глубоких ущельях. Существенное ветровое перераспределение снега отсутствует, и выявилась четкая высотная поясность, выражающаяся в увеличении влагозапасов в снеге с увеличением абсолютных высот (табл.1). Особенно хорошо она проявляется на склонах северной экспозиции и на водоразделах, где градиент прироста влагозапасов достигает 100 мм/100 м. На склонах южной экспозиции картина распределения снегозапасов ослаблена влиянием деятельности человека (лесосеки).

1.10. Испарение – это важнейшая статья водного баланса и тот связующий элемент, посредством которого баланс энергии (радиационный и тепловой) влияет на баланс вещества (водный). Суммарное испарение с угодий, занятых буковым лесом, составляет 602 мм, в том числе транспирация – 390 мм (64,8%), испарение перехвата – 120 мм (20,0%), испарение с почвы – 92 мм (15,2%). В буковых лесах годовая и месячная суммы испарения оказались близкими к величине испарения с водной поверхности на станции Красная Поляна (642 мм).

Единственная реальная возможность получения расчетных величин испарения с карстовых массивов района – использование эмпирических формул и графиков. Известно около 20 формул для определения испарения с грунта и около 5 – с поверхности снега.

Каждая из существующих эмпирических формул, обладая разной точностью, несет определенную информацию о действительной величине испарения. Поэтому нецелесообразно ограничиваться расчетом по одной из них. Для оценки величины испарения по данным неравноточных наблюдений следует использовать средневзвешенное из результатов отдельных оценок, применяя в качестве коэффициентов взвешивания приведенные в них осредненные коэффициенты корреляции между входящими в эмпирические формулы величинами и испарением. Для разных высотных зон карстовых массивов района Большого Сочи расчетная величина испарения определялась по формулам и графикам Кузина, Глухова, Полякова, Тюрка, Котегне, Константинова, Будыко и Гамона. Предлагаемая в настоящих рекомендациях методика позволяет наиболее полно учесть всю информацию, которую можно получить из материалов сетевых метеорологических наблюдений. Необходимо накопление более точных данных об испарении, полученных экспериментальными методами. Испарение с грунта на карстовых массивах района Большого Сочи колеблется от 573 (Алек) до 850 мм (Ахун, Ахштырь). Разность осадки минус испарение определяет величину эффективных осадков, идущих на питание подземных вод (1120–1823 мм).

Гидрологические условия

1.11. Все водотоки района относятся к категории рек с паводочным режимом, но довольно ярко выраженным весенним половодьем. Наибольший за год секундный расход рек может наблюдаться в любом месяце. В питании рек значительную роль играют подземные воды. На карстовых массивах инфиль-

Высотный пояс, м	Водоразделы			Склоны северной экспозиции			Склоны южной экспозиции	
	h	d	i	h	d	i	d	i
950–900	120	0,30	360	–	–	–	–	–
900–850	109	0,31	336	127	0,33	420	–	–
850–800	86	0,32	275	114	0,32	336	–	–
800–750	62	0,33	206	97	0,31	300	–	–
750–700	42	0,33	138	66	0,30	198	0,26	177
700–650	–	–	–	54	0,30	162	0,27	152
650–600	–	–	–	32	0,29	93	0,28	123
600–550	–	–	–	–	–	–	0,29	113
550–500	–	–	–	–	–	–	0,32	108

Примечание. h – высота, см; d – плотность, г/см^3; i – влагозапасы, мм.

трация на уровень подземных вод достигает 800–1000 мм/год, средний модуль подземного стока составляет 25–28 л/(с·км²).

Как и в других карстовых районах юга СССР, гидрологические посты на реках района размещены без учета геологического строения их водосборных бассейнов (см.рис.1). Поэтому выделить карстовую составляющую из общего стока невозможно. Вместе с тем, имеющиеся данные свидетельствуют о невысокой регулирующей роли карста района. Река Сочи на всем своем протяжении питается за счет атмосферных осадков, а в верховье – за счет таяния снегов в высокогорье. Карстовая составляющая играет в ее стоке ничтожную роль. Река Хоста, напротив, получает сток в основном за счет карстовых вод (воклюз Котел на Восточной Хосте, источник Под Шалашом на Западной Хосте, Нижне-Хостинский воклюз и др.) Несмотря на различия в площади питающих водосборов (соответственно 296 и 98,5 км²) и в характере питания, большинство пиков паводков на этих реках проходит практически синхронно. Это является свидетельством высокой скорости движения карстовых вод в глубине известняковых массивов, соизмеримой со скоростью поверхностных водотоков. Между средними декадными значениями расходов этих рек существует довольно тесная связь (коэффициент корреляции 0,80 ± ±0,04). Методика проведения карстолого-гидрологических наблюдений стандартная, принятая в Гидрометслужбе СССР.

1.12. Замеры, выполненные на разных водотоках, показали, что в различные сезоны поглощение стока может колебаться от 8 до 100%. Это очень затрудняет балансовые расчеты и снижает ценность гидрологических наблюдений. Для широкого использования метода необходима организация ряда постов выше и ниже зон поглощения. Вместе с тем, часто это единственный способ, позволяющий получить данные о питании крупных карстовых массивов водами транзитных рек (Мзымта, Псоу) либо, напротив, о расходах карстовых источников субаквальной разгрузки (реки Ац и Хоста).

После ливневых дождей в карстовые шахты и пещеры района устремляются мощные концентрированные потоки, обладающие колоссальной живой силой и транспортирующей энергией. Живая сила потоков в паводок примерно в 20 тыс. раз больше, чем в межень, а транспортирующая способность потоков на массивах Алек и Ахцу в паводок – в 150 млн. раз. Расход и скорость поверхностных потоков во время снеготаяния почти в два раза меньше, чем при ливневых паводках.

1.13. Физико-географические, климатические и гидрологические условия карстовых массивов Большого Сочи весьма благоприятны для развития карста. Наличие выровненных вершинных поверхностей, большое количество атмосферных осадков, в том числе выпадающих в виде снега, значительное превышение осадков над испарением, наличие развитого почвенного покрова, продуцирующего CO_2, – все это способствует развитию поверхностных карстовых форм. Значительная горизонтальная и вертикальная расчлененность рельефа, большие расходы и высокие скорости поверхностных водотоков, наличие очагового инфильтрационного, инфлюационного и линейного инфлюационного поглощения поверхностного стока, существование крупных транзитных рек способствуют развитию подземных карстовых форм.

Геологические условия

Структурно-тектонические условия

1.14. Район входит в складчатую систему южного склона Большого Кавказа, в которой выделяются Новороссийско-Лазаревский синклинорий, горст-антиклиналь Ахцу-Кацирха и Адлерская (Причерноморская) тектоническая депрессия. Горст-антиклиналь Ахцу-Кацирха сложена осадками карбонатной формации верхней юры и терригенно-карбонатной формации мела. Размеры поднятия 40 х 40 км. Со смежными зонами оно сочленяется по круто падающим взбросам. В пределах горст-антиклинали располагаются карстовые массивы Алек, Ахцу, Воронцовский и Дзыхра. Адлерская тектоническая депрес-

сия сложена с поверхности в основном осадками терригенно-карбонатной формации палеогена. В ее центральной и южной частях располагаются антиклинальные (гост-антиклинальные) карстовые массивы Ахштырь и Ахун.

Антиклинали Алек и Ахцу входят в состав Алекского антиклинального поднятия, тектонической подзоны, отделенной от северной подзоны Промежуточного синклинория Кепшинским, а от южной подзоны Пластунской синклинали Монастырским разломами.

1.15. Продольная (северо-западная) тектоническая зональность выражается в смене с севера на юг структурно-фациальных зон, ограниченных длительно развивающимися разломами. В пределах каждой зоны по степени складчатости выделяются структурно-тектонические ступени и геоантиклинальные поднятия. Район входит в состав геоантиклинали Ахцу, на которую надвинуты с севера породы Дагомысско-Агвайской тектонической ступени. Геоантиклиналь Ахцу представляет собой сложную структуру, состоящую из нескольких кулисообразно продолжающих друг друга антиклиналей (Алекской, Ахцу, Воронцовской и др.). Южные крылья этих складок срезаны взбросо-надвигами Монастырской зоны разломов, по которым известняки юры и мела надвинуты на палеоцен Абхазской зоны.

Кроме продольных (кавказских) элементов складчатости, на южном склоне мегантиклинория Большого Кавказа выделяются элементы поперечной (антикавказской) складчатости. Это серия снижающихся к северо-западу блоков (ступеней), разделенных зонами субмеридиональных разломов. Район располагается на Лазаревской ступени, где прослеживаются структуры более высоких порядков, таких, как Западно-Хостинская флексура, Ажекская, Мацестинская и Восточно-Хостинская зоны малоамплитудных разломов и участков с повышенной трещиноватостью.

Литолого-стратиграфическая характеристика

1.16. В пределах района развиты отложения юрского, мелового и палеогенового возраста. Пространственное арсположение этих отложений в пределах отдельных карстовых массивов весьма сложное. Для решения гидрогеологических задач, прежде всего воднобалансовых расчетов, необходимо иметь точное представление об условиях залегания карстующихся пород, о площадях, занятых ими, о соотношениях карстующихся и некарстующихся пород, об основных тектонических нарушениях района.

Рекомендуется проводить крупномасштабные (1 : 2000 – 1 : 5000) съемки с полуинструментальной плановой и барометрической привязкой каждой точки наблюдения.

1.17. Для выявления разломных нарушений следует использовать камеральный морфоструктурный метод, а также ряд полевых поисковых признаков: геологические (тектонический контакт, тектоническая брекчия, интрузии, вторичная минерализация и пр.), геоморфологические (линеаменты, эскарпы, перегибы в продольном профиле долин и пр.), карстологические (расположение и морфология поверхностных и подземных форм, ориентировка их ходов, изменения в характере водных механических отложений и пр.), гидрогеологические (наличие зон поглощения и выходов подземных вод и др.), фитоиндикационные (лавровишня, иглица, рускус, папоротник, самшит – на известняках; ежевика, осоковые – в зонах тектонических нарушений; рододендрон понтийский, черника – на известняках с тонким покровом некарстующихся пород; черника, азалия, молодые экземпляры бука, каштан, клен, липа – на аргиллитах, алевролитах и песчаниках). Для определения возраста перекрывающих известняки отложений применяется микропалеонтологический и спорово-пыльцевой методы.

1.18. Результатом предложенных исследований должны быть геолого-карстологические схемы и профили. Они используются для оценки условий заложения карстовых полостей и их гидрогеологического значения. Новые фактические данные о геологическом строении и тектонике района, полученные при детальных площадных исследованиях и изучении карстовых полостей глубиной до 500 м, могут быть полезны всем специалистам, проводящим геолого-съемочные работы в пределах района.

1.19. Геологические условия большинства горных массивов весьма благоприятны для развития карста. Наличие хорошо карстующихся чистых верхнеюрских, нижне- и верхнемеловых известняков, их большая мощность, интенсивная тектоническая трещиноватость различных направлений создают благоприятные предпосылки для формирования поверхностных карстовых форм на участках развития голого карста. Наличие некарстующихся покровных отложений способствует формированию поверхностного стока на участках развития покрытого карста, а иногда и на участках, расположенных вне контура карстовых массивов. На выходах эрозионных врезов на поля развития карстующихся пород возникают благоприятные условия для линейной и очаговой инфлюации в приразломных зонах. Проработке водоносных систем способствуют значительная приподнятость карстующихся пород над базисами эрозии и наличие в руслах водотоков абразивных материалов (песка, гальки, гравия).

Таким образом, физико-географические и геологические условия Большого Сочи в целом весьма благоприятны для формирования карстовых водоносных систем и концентрации в них крупных подземных потоков.

2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Гидрогеологическое районирование

2.1. В основу гидрогеологического районирования следует положить номенклатуру таксономических единиц, находящихся в последовательном подчинении. При этом термин "регион" рассматривается как обобщенное наименование единиц районирования безотносительно их ранга, а в номенклатуру вводятся термины провинция – область – округ (подокруг) – район (подрайон). Каждой таксономической единице (гидрогеологическому региону) соответствует типологическая единица (резервуар подземных вод) и вмещающее его геологическое тело (табл.2). Предложенные принципы позволяют районировать любую по размерам территорию, выделяя в ее пределах резервуары подземных вод различных типов.

2.2. Сочинский курортный район в соответствии с изложенным входит в Западно-Кавказский округ Горно-Кавказской области Крымско-Кавказской гидрогеологической провинции. В типологическом отношении карстовые массивы Сочинского района представляют малые моноклинальные (либо

Таблица 2

Порядок	Гидрогеологический регион	Резервуар подземных вод	Геологическое тело
I	Провинция	Гидрогеологический кратоген, ороген	Платформа, часть геосинклинального пояса
II	Область	Группа подземных водоносных систем	Плита, средний массив, щит, геосинклинальная система
III	Округ	Подземная водоносная система	Синеклиза, краевой прогиб, складчатое сооружение
IУ	Район	Бассейн, адбассейн, массив	Мульда, грабен, складчатое поднятие, горст

антиклинальные) блоковые континентально цокольные массивы (либо адмассивы) с трещинно-карстовыми блоковыми подземными водами, имеющими преимущественно центробежный (либо двухсторонний продольный сток) и склоново-долинную разгрузку.

Условия формирования подземных вод

2.3. Физико-географические условия района способствуют инфильтрационному, инфлюационному и конденсационному питанию подземных вод карстовых массивов.

2.4. Инфильтрационное питание происходит с площадей развития открытого и задернованного карста. Этот тип питания особенно характерен для Ахунского, Ахштырского и Дзыхринского массивов. На остальных массивах он сочетается в разных соотношениях с инфлюационным питанием. Летом питание происходит после выпадения осадков с интенсивностью более 10 мм/сут. Осадки, выпавшие в меньших количествах, полностью перехватываются кронами деревьев и испаряются. Зимой инфильтрационное питание происходит при подтаивании нижней части снегового покрова за счет парникового эффекта и в период дождей. Величину инфильтрационного питания можно определить как количество эффективных осадков (как разность среднего количества осадков и испарения) по табл.3.

2.5. Инфлюационное питание происходит за счет поглощения поверхностного стока, формирующегося на площадях развития покрытого карста и некарстующихся пород. Поглощение стока происходит в эрозионной и гидрографической сети. В межень объемы инфлюационных вод невелики – расходы постоянных водотоков в балках массивов Алек, Ахцу, Воронцовского, Дзыхра не превышают 2–5 л/с. В паводок они резко возрастают, достигая в наиболее крупных балках (шахта-понор Величественная) 6–10 м^3/с, а в каньонах р.Восточная Хоста и Псахо – нескольких десятков кубических метров в секунду. Во время весеннего снеготаяния максимальные расходы инфлюационных потоков значительно меньше (1,5 – 2,3 м^3/с), но зато сток более устойчив. Величина питания подземных вод инфлюационными водами в различные сезоны резко меняется, что определяется климатическими условиями, а также карстово-гидрогеологическими причинами. При малом объеме стока он полностью поглощается в верхней и средней частях эрозионной сети, переходя в подземный сток. При увеличении объема инфлюационного стока до некоторых предельных значений, различных для разных балок района, значительная часть его, не успевая поглотиться, уходит в нижние части эрозионной сети за пределы карстового района (левые притоки р. Ац, Западная Хоста, балка Дворцовая, р. Восточная Хоста, Сухая балка, р. Кудепста, разгрузка через Очажный ход Воронцовской пещеры, р. Псахо).

2.6. В теплый период значительную роль в формировании подземных вод играет конденсация влаги в трещинно-карстовых коллекторах. В ближней части Воронцовской пещеры в мае – сентябре величина конденсации колеблется от 0,12 до 3,22 м^3/сут. В холодный период происходит вынос влаги из пещеры с такой же интенсивностью (0,32–2,27 м^3/сут). Расчетные данные находят подтверждение в материалах наблюдений по оригинальным конденсационным водосборникам, сооруженным в нескольких залах пещеры. В среднем каждый квадратный метр поверхности стенок и сводов в ближней части пещеры дает в середине лета (июль – август) 0,13 л/сут конденсата. Конденсация может происходить только тогда, когда абсолютная влажность на поверхности превышает абсолютную влажность воздуха в карстовых полостях, а дефицит насыщения в них равен нулю.

Количество конденсационной влаги Q, г; формирующейся в трещинно-карстовых коллекторах можно определить по формуле с учетом коэффициента воздухообмена

$$Q = VTI\,(e_{пов} - e_{подз}), \qquad (1)$$

Таблица 3

Карстовый массив	Распределение площадей по высотным зонам, м							Общая площадь, км²	Среднее количество осадков, мм	Средняя величина испарения, мм	Средняя величина эффективных осадков, мм
	0–200	200–400	400–600	600–800	800–1000	1000–1200	1200–1400				
Алек	–	1,6	1,6	3,8	5,8	–	–	11,8	2396	573	1823
Ахцу	–	0,1	0,1	2,5	12,5	1,8	–	17,0	2440	700	1740
Дзыхра	–	2,4	4,0	8,8	9,2	5,1	0,5	30,0	2351	730	1621
Воронцовский	–	1,6	3,2	2,5	0,7	–	–	8,0	2168	800	1368
Ахштырь	2,4	4,3	4,3	1,0	–	–	–	12,0	1968	850	1118
Ахун	1,4	2,5	2,5	0,6	–	–	–	7,0	1970	850	1120

где V – общий объем пустот, в которых происходит конденсация, м^3; T – продолжительность конденсации, сут; I – коэффициент воздухообмена, раз/(сут · км); $e_{пов}$, $e_{под}$ – абсолютная влажность соответственно на поверхности и под землей, г/м^3 (в интервале интересующих нас температур и давлений близка к упругости водяных паров).

Общий объем пустот $V_{общ}$, в которых происходит конденсация, представляет произведение $V\varepsilon$ (где V – объем карстующихся пород; ε – трещинно-карстовая пустотность). Она принимается равной 3%, что подтверждено при изучении естественного очага разгрузки сероводородных вод в долине р.Агура, где средняя емкость тектонических трещин и трещин напластования в верхнемеловых известняках составляет 3,4%.

Продолжительность процесса конденсации в трещинно-карстовых коллекторах любого карстового массива легко определить по рис.2. В холодный период наблюдается преобладающее испарение. Однако оно не играет существенной роли в водном балансе, так как водяные пары, вынесенные из карстовых полостей и закарстованных трещин, конденсируются на холодной поверхности известняков и на снегу, включаясь в своеобразный "малый круговорот" влаги.

Приняв, что конденсация происходит только в карбонатных блоках, не перекрытых некарстующимися отложениями, легко рассчитать величину конденсационного стока с разных карстовых массивов. Модули конденсационного стока с них составляют 0,7–3 л/(с · км^2), что близко к модулям конденсационного стока карстовых районов Горного Крыма [1,8 л/(с · км^2)] и Югославии [1,7–3 л/(с · км^2)].

В годовом разрезе конденсация не играет существенной роли в водном балансе массивов Западного Кавказа, составляя не более 5% общего объема стока. В теплый период положение меняется. Конденсационный сток составляет в среднем 11,2% эффективных осадков. Средний расход карстовых источников, питающихся летом только конденсационными водами, составляет для массива Ахун 1,3 л/с, Ахштырь – 19,3 л/с, Алек – 300 л/с, Ахцу – 519 л/с, Дзыхра – 96 л/с.

Маршрутные наблюдения

2.7. Маршрутные исследования проводятся на поверхности и под землей. Работы на поверхности заключаются в обследовании вероятных областей питания и разгрузки подземных вод изучаемого карстового района или участка. В области питания выясняются условия формирования подземного стока (инфильтрационное дождевое или снеговое, инфюационное, ледниковое или речное питание), определяется площадь питающего водосбора и его параметры, необходимые для расчета максимального ливневого стока по формулам предельной интенсивности, продолжительности ливня заданной повторяемости и стока при снеготаянии. При наличии постоянного или периодического стока в полость определяются его расход в момент обследования (поплавковый, вертушечный способы, водослив, метод ионного паводка и пр.), горизонты высоких вод, размеры наиболее крупных валунов либо фракционный состав аллювия для расчета максимальных скоростей и расходов по формулам Шези, Шамова или по нормативным материалам Гидропроекта. Замеряется температура всех поверхностных водопроявлений, отбираются пробы на химический анализ, а в случае необходимости и на мутность. В предполагаемой области разгрузки карстовых вод производится обследование всех наземных источников по стандартной программе. Если невозможно определить расход источника (несосредоточенные выходы из глыбового навала, субаквальная разгрузка и пр.), организуются детальные гидрометрические работы на реке, выше и ниже выходов подземных вод. При субмаринной разгрузке карстовых вод применяются специальные методы исследований, в том числе работы с аквалангом. Определяется температура воды в источниках, отбираются пробы на химический анализ и на мутность. Решается вопрос о возможности использования для дальнейших расчетов данных ближайших метеостанций.

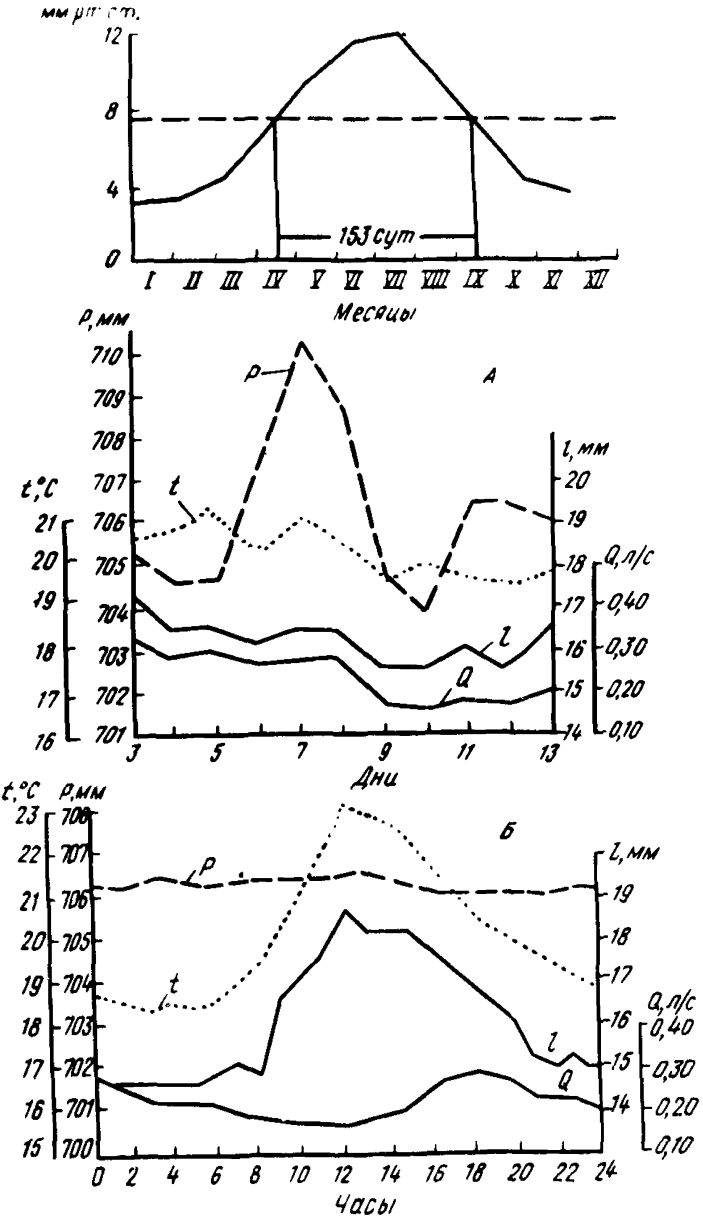


Рис.2. Графики для определения продолжительности процесса конденсации в трещинно-карстовых коллекторах

2.8. Гидрогеологические наблюдения в карстовых полостях сводятся к выявлению всех точек обводненности и нанесению их на план и разрезы в виде специальных условных знаков (мокрые пятна, пятна с каплями, капель, сочащаяся вода, сконцентрированный водоприток и пр.). Выявляются структурно-геологические условия обводненного участка и происхождение воды (инфиль-

трационная, конденсационная). Для этого используются данные о температуре воды и ее химическом составе. Расход воды определяется объемным методом, водосливом или вертушкой, фиксируются морфологические следы изменений уровней воды (примазки глины, натечные коры, изменение цвета породы и пр.). Отбираются пробы на химический анализ.

В шахтах-снежниках определяются площадь и мощность снежно-ледового покрова, объем, плотность по различным горизонтам. Подсчитываются запасы воды в снеге и льде на момент обследования.

В карстовых полостях с реками и озерами производятся подземные гидрометрические работы по обычной методике. Все водотоки и водоемы тщательно картируются. В описании указываются длина отдельных участков, места выхода или ухода под глыбовый навал или коренные стены, участки бифуркации, ширина, глубина по продольному профилю и типичным поперечникам, наличие, состав и отсортированность подземного аллювия, наличие водных хемогенных отложений (гуры, оторочки). Определяются площадь и объем озер, степень их проточности, выясняются условия, при которых начинается транзитный сток через озера. Отбираются пробы воды на химический анализ.

Небольшая глубина полости, извилистость русла, наличие глыбового навала ограничивают возможности использования самого точного вертушечного гидрометрического метода. Для надежного применения водослива необходимо проведение специальных инженерных работ. Объемный метод часто трудно использовать из-за отсутствия сконцентрированных притоков. Для определения расхода водопритоков можно использовать метод смешивания [5].

Полустационарные исследования

2.9. Проводятся в выбранной в качестве эталонной карстовой полости на определенных ее участках в различные сезоны (ежемесячно, ежедекадно, еженедельно). Всюду, где возможно, применяются стандартные и специально сконструированные самописцы (стандартные термографы легко перевести на запись температуры воды, а барографы – на запись колебаний уровней воды). Для регистрации изменений уровней воды между сроками наблюдений применяются максимальные рейки, на пологих стенках – контрольные полосы из любого инертного порошка, по высоте замачивания которых легко определяются изменения положения водного зеркала.

2.10. На поверхности проводятся детальные геолого-структурные, карстологические и гидрогеологические работы, индикаторные опыты, позволяющие определить вероятные контуры подземного водосбора карстовой водоносной системы, выделить в его пределах отдельные тектонические блоки, установить связи между поверхностными и подземными карстовыми формами. В области питания проводятся специальные метеорологические (температура, влажность воздуха, атмосферные осадки, распределение снежного покрова) и гидрологические (изучение постоянного и периодического стока) наблюдения. При этом можно использовать данные ближайших метеостанций, откорректированные с учетом местных условий и выполненных наблюдений. В области разгрузки у выходов карстовых источников оборудуется гидрогеологический или гидрологический пост, позволяющий вести непрерывные наблюдения над изменениями расхода подземного потока. Все периодические наблюдения, проводимые под землей, коррелируются с материалами гидрологических и метеорологических наблюдений на поверхности.

2.11. Цель полустационарных наблюдений – получение сезонных (при необходимости месячных, декадных, недельных) данных об условиях формирования карстовых пород и их режиме в карстовой полости.

Во время полустационарных исследований Красной пещеры в Крыму решались следующие задачи: роль конденсации в питании карстовых вод, характер питания карстовых вод, режим карстовых вод, характер кривых истощения, прогноз повторяемости паводков разной величины.

Стационарные изыскания

2.12. Стационарные наблюдения возможны только в карстовых полостях, оборудованных для использования в качестве гидрогеологических и биоспелеологических лабораторий или туристско-экскурсионных объектов. В эту категорию в известной мере попадает только Кунгурская пещера. Стационарные наблюдения принципиально отличаются от маршрутных и полустационарных наличием ряда подземных и поверхностных наблюдательных пунктов (станций, створов), оборудованных стандартными и специально сконструированными приборами повышенной точности, имеющими дистанционное питание и регистрацию сигнала. Возможности проведения самых различных исследовательских работ при создании спелеостационаров неограничены. Наиболее перспективные направления исследований: изучение показателей степени и вида трещиноватости и закарстованности, изучение процессов растворения карстующихся пород, изучение цикличности спелеогенеза и спелеолитогенеза, проведение опытных работ. Карстовые полости могут быть использованы как природные аналоги для изучения проявлений горного давления, расчета поперечного сжатия, определения предельных пролетов и сводов.

Индикаторные опыты

2.13. Они позволяют при сравнительно небольших объемах работ выявить направления и определить скорость движения подземных вод. При этом непрерывно совершенствуется методика использования разных индикаторов, предлагаются новые приемы их фиксирования и интерпретации полученных данных.

2.14. Применяемые индикаторы, используемые для трассирования карстовых вод, должны удовлетворять следующим требованиям: отсутствовать в испытываемых породах; не адсорбироваться вмещающими породами; не вступать в химические реакции с веществами, имеющимися в воде; легко обнаруживаться при низких концентрациях; быть безвредными для животных и растительных организмов. Все используемые методы делятся на три крупные группы: физические, химические, биологические.

2.15. Группа физических методов объединяет ряд разнородных методов, заключающихся или в изучении физических параметров водных притоков, или в запуске в воду веществ, не вступающих с ней в реакцию.

Особенно успешно развивается метод запуска в поглощающие поноры и карстовые полости спор *Dicopodium clavatum*, используемых в фармацевтической промышленности. Они имеют небольшие размеры (30–35 мк), характеризуются механической и химической стойкостью, перемещаются с той же скоростью, что и подземные воды. Одновременный запуск разноокрашенных спор из нескольких поноров позволяет разграничить области питания карстовых источников и примерно рассчитать их водный баланс. Метод применим лишь в скоростных турбулентных потоках.

Особое место среди физических методов исследований занимают изотопные методы. В качестве индикаторов исследователи используют дейтерий, тритий, C^{14}, O^{18}, S^{35}, изотопы йода и брома в виде солей иодин-131 и бромин-82, кобальта в форме $K_5\,Co(CN)_6$. В большинстве случаев их применение дает хорошие результаты, но требует сложной аппаратуры. Изотопные методы необходимо применять на стадии полустационарных исследований, когда надо получить более точные данные о предполагаемых связях карстовых полостей в области питания и разгрузки, доказать наличие субмаринной разгрузки подземных потоков и прочее.

2.16. В группу химических методов входят методы запуска неорганических и органических индикаторов, которые растворяются в воде и затем фиксируются теми или иными физическими или химическими методами. Наиболее распространены такие химические методы, как засоление и окрашивание. При опытах с засолением используются $NaCl$, KCl, NH_4Br. Ионы Na и K определяются спектрофотометром, а Cl и Br – титрованием. Для эксперимен-

та необходимо большое количество соли (до 2 т). Разновидностью метода засоления является изучение химического состава подземных вод, образующихся в результате смешивания воды двух горизонтов или карстовых полостей, отличающихся по минерализации и химическому составу. В качестве индикаторов в этом случае используют величину pH, Eh или содержание характерных компонентов, например Fe.

Чаще всего при проведении индикаторных опытов в карстовых районах применяют различные красители. Для щелочных вод (pH более 6,5) красящими индикаторами являются флюоресцеин, уранин, родамин, эозин, конго красная, для кислых – метиленовая синька, анилиновая голубая, понсо красная. Необходимое количество красителя A, кг, можно определить по формуле Лориоля

$$A = 0{,}5 l (q_1 + q_2),$$

где l – расстояние от места запуска до ожидаемого места выхода по прямой, км; q_1 – расход потока у места запуска, м³/с; q_2 – расход потока у места выхода, м³/с.

Перед запуском краситель разбавляют в небольшом количестве слабой щелочи (из расчета 100–150 г красителя на 1 л щелочи). Запуск обычно производится непосредственно в подземный поток. Реже краситель загружают в карстовые воронки со снегом. Для определения красителя применяют прямой визуальный, прямой инструментальный и ловушечный методы. При визуальном методе нижний предел обнаружения красителя зависит от мутности воды, толщины ее слоя и цветовой гаммы окружающей местности. Поэтому под землей и на источниках, выходящих в зоне леса, этот метод не надежен. Пользуясь флюороспектроскопом или спектрофотометром, имеющими специальные источники ультрафиолетовых лучей (галогенные или ксеноновые стробоскопические лампы), можно фиксировать концентрацию красителя до 0,1 мг/м³.

Недостатком этих методов является необходимость постоянного присутствия наблюдателей на всех ожидаемых выходах красителя. В последние годы разработаны количественные методы одновременной регистрации расхода воды и содержания красителя, позволяющие при запуске 200–250 г флюоресцеина фиксировать в месте его выхода 190–140 г. Это резко повышает значение методов окрашивания в балансовых расчетах.

2.17. Биологические методы объединяют несколько разнородных методик. Положительный опыт подобных исследований накоплен в Крыму и на Западном Кавказе. В настоящее время биоспелеологические методы в гидрогеологических целях почти не используются.

2.18. При планировании индикаторного опыта и интерпретации его результатов следует учитывать возможность реализации одной из трех моделей распределения красителя. В первом случае запуск красителя в любом поглотителе или карстовой полости горного массива формируется в единственном карстовом источнике и на его периферии. Во втором – краситель из одного понора поступает в несколько источников, иногда находящихся в разных речных бассейнах (бифуркация стока). В третьем – происходит "перекрещивание" подземного стока на разных уровнях. Так как при первых опытах выбор модели, отвечающей данному карстовому массиву, имеет вероятностный характер, следует ставить ловушку на большинстве крупных карстовых источников района. Не следует ограничиваться ближними областями разгрузки – источниками, расположенными на склонах изучаемого карстового массива. Неоднократными запусками красителя на массиве Алек доказано, что подземные потоки разгружаются не только в ближней области разгрузки, проходя через бассейн р.Восточная и Западная Хоста, Ац в бассейн р.Сочи, но и в дальней области разгрузки (краситель получен из буровых скважин с минеральной водой на расстоянии 20 км от места запуска при перепаде высотных отметок более 2,8 км).

2.19. Выбранная модель распределения красителя обычно определяет не только места расстановки ловушек, но и частоту их смены. При большом количестве контрольных источников, расположенных, как правило, в трудно-

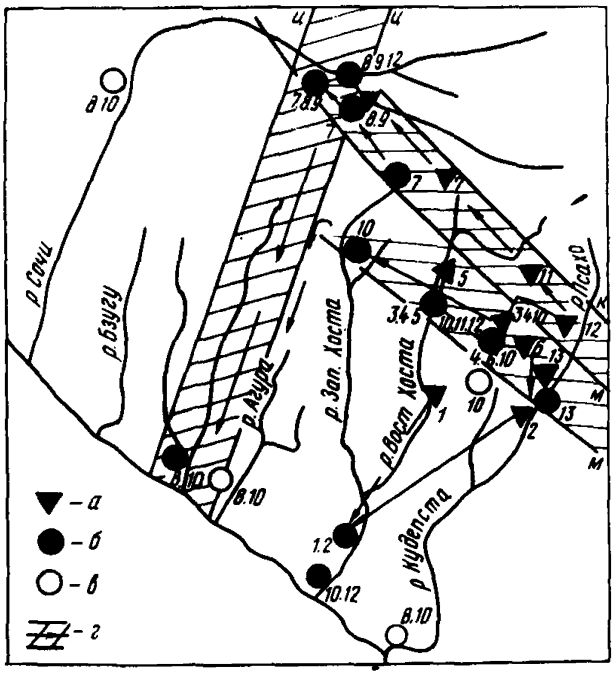


Рис.3. Схема проведения индикаторных опытов на массивах Алек и Ахцу
а – место запуска индикатора; *б* – место выхода индикатора; *в* – источники и скважины, где индикатор не получен (цифры и знаки – номера опытов); *г* – направления движения подземных вод вдоль разломных зон: К – Кепшинской; М – Монастырской; Ц – Цицинской

доступных районах, приходится ограничиваться одно- или двухкратной сменой ловушек на протяжении опыта. Это снижает его ценность, так как невозможно определять скорость с необходимой точностью.

При расчете скорости движения красителя следует вводить поправку на коэффициент извилистости карстовых полостей. Это позволяет получать уточненные значения истинной скорости движения карстовых вод.

2.20. *Использование разных индикаторов даже в единых гидрогеологических условиях дает существенно различные результаты. Причина заключается в том, что пути движения воды в межень и паводок неодинаковы, также различно поведение индикаторов под землей.* Я.Молинари предлагает конвективную, конвективно-дисперсионную и конвективно-обменную модели распределения красителя при движении его "пакета" по карстовой полости (рис.3). Неоднократная смена морфологии полости вниз по потоку приводит к возникновению нескольких пиков интенсивности окрашивания воды и затрудняет гидродинамическую трактовку индикаторных опытов.

2.21. *Применение больших количеств флюоресцеина* (5–10 и более кг за один эксперимент) создает опасность "заражения" горного массива красителем. В горном Крыму и на массиве Алек известны случаи появления окрашенной воды после паводков на протяжении нескольких лет после проведения эксперимента. В шахте Нежданная на массиве Ахцу контрольное прохождение 1978 г. показало, что стены полости под водопадом покрыты краской, запущенной в 1977 г. на высоту 3–4 м. Это порождает опасность ложных выводов

при проведении новых экспериментов и в ряде случаев подрывает доверие к результатам.

2.22. Изложенное свидетельствует о целесообразности перехода на полуинструментальную (спектрофотометрическую) фиксацию небольших (сотни граммов) количеств красителя. Это возможно только при стационарных исследованиях. При маршрутных работах следует применять различные индикаторы (флюоресцеин и поваренная соль, споры и родамин).

Измерения температуры подземных вод

2.23. В карстовых полостях массива Алек произведено свыше 500 замеров температуры воды. Наибольший интерес представляют серии замеров, произведенных на одной глубине в различные сезоны года (рис.4).

В холодный период температура подземных вод зависит от поступления с поверхности инфлюационных и, в меньшей мере, инфильтрационных вод. В привходовых частях полостей (примерно 80–100 м по глубине и 200–300 м по длине) происходит довольно быстрый прогрев этих вод (гидротермический градиент +2,5– +4,0°С/100 м. Кривые изменения температуры по глубине имеют сложную, петлеобразную форму, так как более холодные инфлюационные потоки проникают через разные карстовые полости на различную глубину. Например, у места слияния на глубине 130 м водоток из Главного хода шахты Географическая имеет среднюю температуру 7°С, а водоток из Нудного хода – всего 5°С. Небольшие инфильтрационные потоки, поступающие в шахту на этой же глубине, имеют температуру 7,3–7,4°С. Такая существенная разница в температуре притоков позволяет производить расчеты методом смешивания и оценить их происхождение. Более холодные притоки имеют инфлюационное, а более теплые – инфильтрационное питание.

2.24. В теплый период питание карстовых полостей массива осуществляется инфлюационными, инфильтрационными и конденсационными водами, причем их процентное соотношение непрерывно меняется. Инфлюационные воды поступают хорошо прогретыми и на глубине до 100 м наблюдается их быстрое охлаждение с 9–10 до 7–7,5°С (рис. 4). При этом гидротермический градиент составляет минус 1,7–минус 2,4°С/100 м; с глубины 100 м начинается их постепенный прогрев, и в нижней части карстовых водоносных систем (пещера Соколова) устанавливается почти постоянная температура 9,6° С, близкая к среднегодовой температуре воздуха (9,7° С).

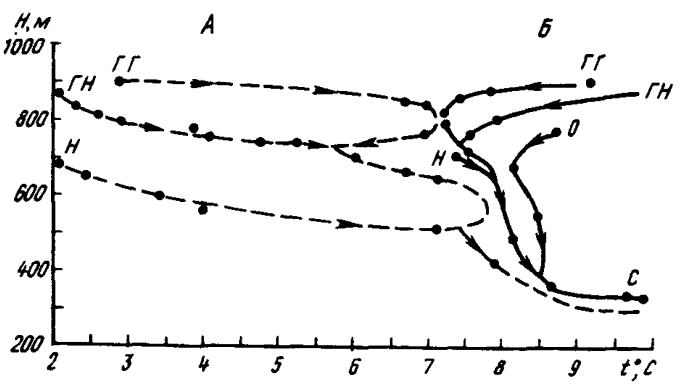


Рис.4. Графики изменения температуры подземных вод карстовых полостей массива Алек
А – холодный период; Б – теплый период. Шахты и пещеры: ГН – географическая, нудный ход; ГГ – географическая, главный ход; Н – Назаровская; О – Октябрьская; С – Соколова

Для средней и нижней частей карстовых водоносных систем (глубина 100 м от входа и ниже абсолютных отметок 800 м) имеется четкая связь между абсолютной высотой Н и температурой воды t с коэффициентом корреляции минус 0,9 0,03. Уравнение связи между H, м и t °С имеет вид

$$t = 9{,}8 - 0{,}0035\,H. \qquad (3)$$

Средний гидротермический градиент для этой зоны составляет 0,35° С/ /100 м.

В теплый период температура боковых притоков обычно на 1–2°С ниже, чем основного потока. Это объясняется тем, что инфлюационные воды более прогреты, чем горная порода, в которой происходит конденсация. Вода в непроточных ванночках имеет температуру, близкую к температуре воздуха в данной зоне. Обычно она на 0,2–0,6°С отличается от температуры проточных вод.

В других полостях района производились лишь единичные замеры температуры воды.

Гидрохимические наблюдения

2.25. Изучение химии карстовых вод является одним из основных количественных методов исследования карстовых процессов. Это определяет их значение не только в гидрогеологии карста, но и при любых инженерно-геологических исследованиях.

В гидрогеологии карста объектами исследований обычно являются поверхностные воды в области питания и воды источников в области разгрузки.

2.26. В районе следует стремиться получить сезонные месячные или декадные характеристики химического состава и минерализации следующих видов поверхностных и подземных вод: атмосферные осадки, инфильтрационные воды, инфлюационные воды, конденсационные воды, снег и лед карстовых полостей, вода из непроточных ванночек, подземные водотоки, трещинно-карстовые воды изолированных систем, воды зон затрудненного водообмена, воды источников.

2.27. Методика отбора проб обычная с некоторыми отличиями, обусловленными спецификой работы в карстовых полостях. Пробы отбираются в транспортные полиэтиленовые фляги емкостью 1 л при помощи полиэтиленовых воронок, резиновых груш с двадцатисантиметровым резиновым шлангом на конце, а также кисточек. На поверхности пробы переливаются в стеклянные бутылки.

2.28. Сопутствующие наблюдения заключаются в замере температуры воды и воздуха, в определении атмосферного давления и в отборе пробы воздуха на содержание CO_2. Для получения достоверных сведений об агрессивности подземных вод следует определить на месте pH (переносной pH-метр любой системы) и содержание нестойких компонентов (HCO_3^-, CO_3^{2-}, $CO_{2\,своб}$). В подземной лаборатории используется стандартная полевая лаборатория ПЛАВ, МЛАВ или ЛНК), производятся все анализы, отобранные в данной полости.

2.29. Материалы маршрутных наблюдений, выполненных в разные сезоны, позволяют построить информативные графики изменений минерализации и химического состава вниз по потоку (в конкретной карстовой полости) или вниз по разрезу карстового массива (с использованием данных анализов поверхностных и подземных вод). Эти графики лучше всего строить в миллиграмм-эквивалентной форме (график Бродского), сопровождая их геологическим разрезом массива, профилем карстовой водоносной системы, данными об изменениях температуры воды, ее pH, содержания CO_2 в воздухе. Анализ этих графиков позволяет составить обоснованное заключение о характерных процессах метагенеза подземных вод на разных участках карстовой полости,

связать изменения минерализации воды с крупными тектоническими нарушениями или местами подтока из других гидродинамических зон.

Обычно хорошо выделяются участки полости, где происходит отложение водных хемогенных осадков и некоторое снижение минерализации и, напротив, активное растворение коренных известняков и натеков. Эти материалы позволяют рассчитывать весьма важные гидрохимические показатели: градиенты вертикального и горизонтального выщелачивания (мг/л · 100 м). Их величина резко меняется в разных гидродинамических зонах и в различные сезоны.

2.30. Материалы, полученные при маршрутных и полустационарных исследованиях, часто используются для оценки степени агрессивности разреза по отношению к карбонатным и сульфатным породам. Для этого необходимо определить отклонения от состояния равновесия в системах $CaCO_3-H_2O-CO$ и $CaSO_4-H_2O$. Они зависят от температуры воды, гидростатического давления, парциального давления CO_2, химического состава растворителя, продолжительности растворения и ряда других факторов. Анализ карбонатных равновесий возможен только при определении большей части этих параметров на месте, непосредственно под землей. Повышение температуры раствора с 5 до 14°С при транспортировке пробы на поверхности может вызвать выпадение в осадок 53,6 мг/л $CaCO_3$, а снижение парциального давления с 8100 Па (0,08 атм) до 2000 Па (0,02 атм) – выпадение 257 мг/л $CaCO_3$; pH природных вод также испытывает значительные колебания в зависимости от времени производства анализа после отбора пробы.

Для изучения открытых карбонатных систем наиболее удобна диаграмма, на которой в координатах pH и $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ построены равновесные кривые для точек насыщения воды карбонатом кальция при разных температурах, а также кривые равных значений pCO_2, находящихся в равновесии с недонасыщенными водами. По этому графику можно определить предельное насыщение и дефицит насыщенности для данной воды при pCO_2, оставшийся неизменным. На графике А.Рока хорошо видны тенденции метагенезиса карстовых вод. Степень агрессивности данной воды к карбонату кальция можно определить по формуле

$$m\,Ca = (\alpha_H K_S / 2\gamma Ca^{2+} \gamma HCO_3^- K_2)^{0,5}, \qquad (4)$$

где $m\,Ca$ – теоретическое содержание иона кальция в данной воде; K и K_2 – константы равновесия; α_H – активная концентрация иона водорода; γCa^{2+} и γHCO_3 – коэффициенты активности.

Порядок расчета этих величин подробно изложен в работе [5].

Составление водного баланса карстовых массивов

2.31. При расчете водного баланса карстовых массивов возникают две основные трудности: определение площади балансового участка и получение информации о всех элементах водного баланса, входящих в расчетную формулу. Первая трудность преодолевается путем проведения геолого-карстологической съемки, изучения карстовых полостей района и проведения индикаторных опытов. При этом следует иметь в виду, что до сих пор не выработаны (и, очевидно, не существуют) однозначные критерии выделения границ карстовых бассейнов. В различных ситуациях их границами могут быть эрозионные врезы, стратиграфические и литологические контакты, тектонические контакты и топографические водоразделы. Принципы определения границ районного водосбора в значительной мере определяются геологической структурой района, особенностями формирования трещинно-карстовых вод и наличием крупных тектонических нарушений, играющих в одних случаях роль барражей, а в других – водопроводящих путей.

2.32. Уравнение водного баланса большинства горных карстовых массивов может быть записано в виде

$$X + K = Z + У_{пов} + У_{подз} + У_{глуб}, \quad (5)$$

где X – осадки; K – конденсация; Z – испарение; $У_{пов}$ – поверхностный сток; $У_{под}$ – подземный сток; $У_{глуб}$ – глубокий сток.

Предлагаются методы определения расчетных значений всех элементов водного баланса в условиях обычного в горных районах недостатка информации.

Атмосферные осадки

2.33. Для получения расчетных значений привлекаются все имеющиеся материалы. В данные наблюдений по сетевым метеостанциям и метеопостам по осадкомерам Третьякова вводятся поправки на смачивание и выдувание, а по суммарным осадкомерам – на выдувание. Затем строится график зависимости осадков $X = H$ (где H – высота местности) и с него снимаются средние величины для высотных зон 0–200, 200–400, 400–600 м и т.д. Расчетная величина выпадающих осадков определяется как средневзвешенная, в качестве коэффициентов взвешивания принимаются площади выделенных высотных зон, определенные по топографической карте масштаба 1 : 25 000; 1 : 50 000 для расчетного баланса района.

Конденсация

2.34. Методика определения конденсации сводится к следующему:

1) количество конденсационной влаги, формирующейся в трещинно-карстовых коллекторах Q, г определяется по модифицированной формуле В.И.Оболенского

$$Q = V \varepsilon T I (l_{пов} - l_{подз}), \quad (6)$$

где V – объем горного массива, м^3; ε – коэффициент трещинно-карстовой пустотности, доли единицы; T – продолжительность процесса конденсации, сут; I – коэффициент воздухообмена, раз/сут; $l_{пов}$, $l_{подз}$ – влагосодержание воздуха на поверхности и под землей, г/м^3 (в диапазоне температур и давлений, наблюдаемых в карстовых полостях), численно равно абсолютной влажности, выраженной в мм рт.ст. (1 мм рт.ст. $\simeq$ 1 мб · 0,75);

2) объем горного массива V определяется по топографической и геологическим картам с учетом данных геолого-карстологической съемки. При этом определяются:

а) площади развития карстующихся пород в пределах выделенных высотных ступеней (0–200, 200–400 м и т.д.). Определение проводится палеткой или планиметрированием. Площадь карстового массива должна быть равна сумме площадей всех высотных ступеней;

б) расчетные площади оснований всех призм, сложенных карстующимися породами. Суммирование площадей производится нарастающим итогом от верхней ступени к нижней. Контроль: площадь основания нижней призмы должна быть равна площади карстового массива;

в) объем всех призм, сложенных карстующимися породами. Объем каждой из них определяется по формуле

$$[(S_1 + S_2)/2]h, \quad (7)$$

где $S_1, S_2, \ldots, S_n$ – площади оснований призм, h – заложение ступени (в нашем случае 200 м);

г) объем "незакарстованного ядра" $V_{ук}$, по которому нет данных микроклиматических наблюдений, определяется по формуле усеченного конуса

$$V_{ук} = \pi H (R^2 + R_r + r^2)/3, \quad (8)$$

где H – высота конуса; r и R – радиусы соответственно верхнего и нижнего оснований. Высота H и площади верхнего и нижнего оснований определяются по максимальной глубине карстовых полостей массива. Так, при высоте массива 800 м и глубине карстовых полостей 300 м H= 500 м. Верхнее основание располагается на высоте 500 м и численно равно 1800 м, отсюда $r=\sqrt{1800/\pi}$; нижнее основание располагается на высоте нулевой отметки и численно равно 1500 м, отсюда $R = \sqrt{1500/\pi}$. Объем "ядра" вычитается из общего объема карстового массива. Эта схема учитывает наиболее часто встречающиеся взаимоотношения между профилем поверхности и профилями подземных карстовых систем;

3) коэффициент трещинно-карстовой пустотности ε определяется методом площадок с учетом знания трещин, изучения карста и пр. (на основании съемки тектонической трещиноватости), геофизическими или геохимическими методами. Ни один из них не является универсальным. Анализ отечественной и мировой литературы позволяет принять в качестве минимальной величины для закарстованных верхнеюрских и меловых известняков $\varepsilon = 3\%$ (или 0,03).

Произведение $V\varepsilon$ дает объем трещинно-карстовых пустот в пределах расчетной части горного массива;

4) продолжительность конденсации T и разность влагосодержаний на поверхности и под землей ($t_{пов} - t_{подз}$) определяется по графику. На график с координатами время (ось абсцисс, месяцы) и влагосодержание (ось ординат t, г/см^3) выносятся данные о годовом ходе абсолютной влажности на поверхности и под землей. Если данных мало, можно построить график для всего массива, если их много – по высотным зонам, что существенно уточняет расчеты ($t_{пов}$ получается по данным сетевых метеостанций, $t_{подз}$ – по материалам обследования карстовых полостей, по замерам в их нейтральной микроклиматической зоне). Пересекающиеся линии годового хода $t_{пов}$ и $t_{подз}$ образуют поля конденсации ($t_{пов} > t_{подз}$) и испарения ($t_{пов} < t_{подз}$).

С графика легко снять продолжительность конденсационных процессов и их среднемесячную интенсивность, определяемую по разности ($t_{пов} - t_{подз}$) для каждого месяца. Затем можно рассчитать среднесезонную величину конденсации;

5) коэффициент воздухообмена I определяется по массовым микроклиматическим наблюдениям под землей. В карстовых полостях определяется скорость движения воздуха (анемометром АСО-3), умножением на коэффициент 0,75 приводится к средней скорости в данном сечении. Затем по скорости и площади поперечного сечения в месте замера определяется расход потока. Частное от деления объема полости на суточный объем воздушного потока дает коэффициент воздухообмена, характеризующий данную полость. В большинстве карстовых полостей коррозионного класса он составляет 11–18 раз/сут. Затем производится его осреднение.

Предлагаемая методика не претендует на высокую точность. Она дает величину конденсации с ошибкой около 10%.

Испарение

2.35. Фактические данные об испарении с грунта и транспирации древесно-кустарниковой растительностью в горных карстовых районах обычно отсутствуют. Поэтому для расчета испарения целесообразно использовать эмпирические формулы и графики, основанные на существовании более или менее тесных связей с различными метеоэлементами. Специальный анализ показал, что в литературе известно около 40 таких формул и графиков, связывающих испарение с осадками (коэффициент корреляции 0,44), испаряемостью (0,90), с абсолютной влажностью (0,85), относительной влажностью (0,80), дефицитом насыщения (0,88), температурой воздуха (0,65), скоростью ветра (0,22), влажностью почвы (0,75), радиационным балансом (0,65), продолжитель-

ностью солнечного сияния (0,60). В различные формулы входят от одной до трех величин, определяющих испарение. Чаще всего они коррелируются с температурой, дефицитом насыщения и скоростью ветра. Поэтому разные расчетные формулы имеют свои коэффициенты взвешивания, рассчитанные как средние из приведенных выше коэффициентов корреляции.

Для определения испарения рекомендуются: с водной поверхности методы Давыдова, Будыко (коэффициенты взвешивания 0,88), Майера, Карнацевича–Попова (0,65), Майера, Тихомирова, Полякова (0,55), Давыдова, Пенмана, Лайхтмана, Менкеля, Зайкова, Браславского (0,54), Иванова (0,73); с поверхности снега методы Самохина, Семенова (0,88), Майера (0,55), Кузьмина (0,54); с поверхности грунта методы Тихвинского (0,55), Кузина (0,65), Майера, Вундта, Полякова, Тюрка, Котегне (0,55), Трайбера (0,67), Будыко (0,55), Константинова (0,75), Гамона (0,75), Торнтвайта, Холцмана (0,63), Зейберлиха (0,62), Багрова (0,76), Конторщикова, Мхитаряна (0,61).

Выбор расчетных методов определяется наличными метеоданными. Пусть для балансового бассейна имеются сведения по температурам воздуха, дефициту насыщения и абсолютной влажности. В этом случае последовательность расчета испарения следующая:

а) по графикам связи $t=f(H), d=f(H)$ определяются расчетные значения метеоэлементов для различных высотных зон и их средневзвешенные значения (с учетом их площадей);

б) выбираются расчетные формулы для определения испарения. Это формулы Кузьмина (связь с t, коэффициент взвешивания 0,65), Константинова (связь с l и t, 0,75), Торнтвайта (связь с t, 0,63), Багрова (связь с t и d, 0,76). По средневзвешенным значениям t, l и d по этим формулам и графикам определяется испарение Z_1, Z_2, Z_3, Z_4;

в) окончательное расчетное значение Z равно

$$Z = (Z_1 \cdot 0{,}65 + Z_2 \cdot 0{,}75 + Z_3 \cdot 0{,}63 + Z_4 \cdot 0{,}76) / / (0{,}65 + 0{,}75 + 0{,}63 + 0{,}76). \quad (9)$$

Полученное таким образом расчетное значение испарения является самым достоверным при недостаточной информации.

Поверхностный и подземный сток

2.36. Полученные независимыми методами значения X, K и Z позволяют расписать величину общего стока с карстового массива ($Y_{общ} = X + K - Z$). Расчленить общий сток на составляющие возможно лишь в том случае, если имеются данные фактических наблюдений за источниками и поверхностными водотоками района. Методика наблюдений и расчетов здесь совпадает с общепринятой. Основные трудности, с которыми сталкиваются в районе, сводятся к следующему: нет данных о расходах даже очень крупных подземных карстовых источников; не разработана методика оценки расходов субмаринных источников; нет наблюдений за расходами крупных поверхностей водотоков, формирующихся за счет стока с карстовых и некарстовых массивов; нет данных о поглощении (или пополнении) стока поверхностных транзитных водотоков.

Все это делает невозможным более детальные работы по раздельному определению поверхностного, подземного и глубинного стока для отдельных, иногда даже очень крупных карстовых массивов.

2.37. Единственный путь получения данных для обоснованных балансовых расчетов – это организация многолетних стационарных наблюдений. На организационном этапе эти работы включают создание режимной сети, в том числе весьма дорогостоящее сооружение водомерных устройств на источниках и реках. Только такие работы позволяют выявить и охарактеризовать количественно подземную и глубинную составляющие водного баланса.

Расчет ионного стока карстовых массивов

2.38. Количественная оценка интенсивности современных карстовых процессов на основании изучения ионного стока позволяет составить карты интенсивности развития карста для отдельных районов, выявить широтную зональность и высотную поясность в его проявлениях, построить кривые зависимости скорости растворения известняков от высоты местности, определить соотношение разрушения карбонатных пород механическим и коррозионным путем, установить связи между интенсивностью карстовых процессов и морфологией карстовых форм.

Ионный сток с карстового массива R_u, г/с определяется по формуле

$$R_u = AQC, \tag{10}$$

где Q – сток через расчетный створ; C – концентрация ионов; A – коэффициент размерности.

2.39. Исходные данные, используемые для расчета, могут быть получены различными методами и выражены в разных единицах. Так, сток через расчетный створ может быть получен прямыми гидрологическими или гидрогеологическими наблюдениями, определен как разность осадка минус испарение или по полной балансовой формуле.

Различные комбинации всех перечисленных видов выражения исходных данных весьма многочисленны (их более 150). Получаемая величина именуется показателем активности (или интенсивности) карстового процесса, показателем интенсивности (или скорости) карстовой денудации, показателем карстовой коррозии, карстовой эрозии, климатической коррозии, внутренней абляции и пр. Расчеты по всем многочисленным формулам, а также их многочисленным модификациям, появившимся в последующие годы, приводят практически к одному результату, поэтому следует рекомендовать наиболее простую формулу М. Пулины:

$$X = 0{,}0126\,\Delta M\,q, \tag{11}$$

где X – карстовая денудация, м³/(км² · год) или мм/1000 лет; ΔM – разность минерализации воды в карстовом источнике и атмосферных осадков; q – модуль стока, л/(с · км²).

2.40. Для расчета ионного стока и карстовой денудации следует иметь физико-географические и гидрохимические данные об изучаемом массиве. Общие данные включают сведения о площади карстового массива по высотным зонам, с учетом развития карстующихся и некарстующихся пород, о средней температуре воздуха, °С, среднем количестве атмосферных осадков; X, мм, испарении Z, мм, и конденсации K, мм. Общий сток У с карстового массива определяется по балансовой формуле

$$У = X + K - Z. \tag{12}$$

2.41. Специальные данные включают сведения о размещении всех карстовых источников района, их расходе и минерализации. Идеальным является случай, когда на всех крупных источниках района имеются гидрологические посты, оборудованные самописцами. В карстовых районах посты обычно отсутствуют, поэтому следует провести год режимных наблюдений, организовав на одном источнике полустационарный пост, оборудованный самописцем уровня, и проведя в нем цикл гидрологических исследований с определением скорости и расхода воды в разные сезоны вертушечным методом. На остальных источниках организуются краткосрочные синхронные наблюдения и по основному посту определяются расходы на все сроки наблюдений по зависимостям:

$Q = f(h)$, $V = f(H)$, $W = f(H)$, где Q – расход м³/с; V – скорость потока, м/с; W – площадь поперечного сечения, м²; h – высота уровня воды, м.

Затем устанавливаются корреляционные зависимости между расходом реки-аналога и исследуемых карстовых водотоков.

На основании этих зависимостей рассчитываются средние декадные (или полумесячные) расходы всех водотоков района, имеющих карстовое питание.

2.42. На основном посту наблюдений еженедельно (в сроки проведения гидрологических наблюдений) отбираются пробы воды на химический анализ. Во время прохождения паводков пробы отбираются ежедневно или несколько раз в день, чтобы определить минерализацию и состав воды, соответствующие экстремальным расходам. Затем определяются химический состав и минерализация воды во все рассчитанные периоды по уравнению связи $C = f(Q)$ (где C – минерализация, мг/л; Q – расход, м³/с). При отсутствии или невысокой достоверности этой связи расчетная минерализация определяется осреднением проб, отобранных в сходных гидрологических ситуациях (межень, дождевой паводок, снеготаяние и пр.).

2.43. На основании всей полученной информации строится комплексный график (рис.5). На графике A приведены данные о средних месячных (или декадных) значениях температур воздуха, атмосферных осадков и испарения. Результат разности осадки минус испарение дает потенциальный поверхностный и подземный сток. Фактический сток отличается от потенциального, так как его формирование зависит от температуры воздуха и промоченности грунта. На графике $Б$ приведены данные о расходе карстовых источников и его среднегодовом значении. На графике $В$ показаны изменения минерализации подземного потока на выходе за пределы карстового массива. Минимальная минерализация обычно соответствует паводкам, а максимальная – межени. В отдельных карстовых районах наблюдаются отклонения от этой общей зависимости. На графике $Г$ приводятся данные о ионном стоке (как произведений расхода на минерализацию). Среднее значение ионного стока (102 г/с) может быть использовано в дальнейшем для определения карстовой денудации. Для этого $R_{ц}$ г/с, переводится в тонны за год путем умножения на число секунд в году, затем тонны перевозят в кубические метры путем умножения на число секунд в году или путем деления на средний объемный вес карстующих пород. После этого полученная величина делится на площадь карстового массива и выражается в мм/1000 лет (мк/год), либо относится к объему карстового массива и выражается в процентах за 1000 лет. Эти величины и являются показателем карстовой денудации либо интенсивности карстового процесса для данного массива. Из рис. 5 ясно, что использование для расчетов случайных замеров расхода и минерализации, полученных при маршрутных обследованиях, неизбежно приведет к существенным (150–100%) отклонениям от средней величины.

2.44. Предлагаемая методика позволяет не только рассчитывать интегральные характеристики ионного стекла за год, но и анализировать его величины в разных условиях питания (см.рис.5). Видно, что основные объемы ионного стока формируются за счет снегового питания. При детальном изучении физико-географических условий развития карста района можно расчленить график ионного стока не только по условиям питания, но и по составляющим (см.рис.5). Атмосферную составляющую можно определить, умножив годовое количество осадков на минерализацию атмосферных вод и на площадь водосборов, сложенных известняками. Поверхностную (инфлюационную) составляющую можно определить, умножив годовое количество эффективных осадков (осадки минус испарение) на среднюю минерализацию инфлюационных минус средняя минерализация атмосферных осадков и на площадь водосборов, сложенных некарстующимися породами. Эти две составляющие ионного стока имеют некарстовое происхождение. Карстовая составляющая – это разность ионного стока, атмосферной и поверхностной составляющих. Для массива Алек она составляет всего 50% от общего ионного стока, испытывая значительные изменения в течение года. Из карстовой составляющей, зная объем и минерализацию конденсационных вод, легко выделить конденсационную составляющую. Для массива Алек она не превышает 3%. Таким

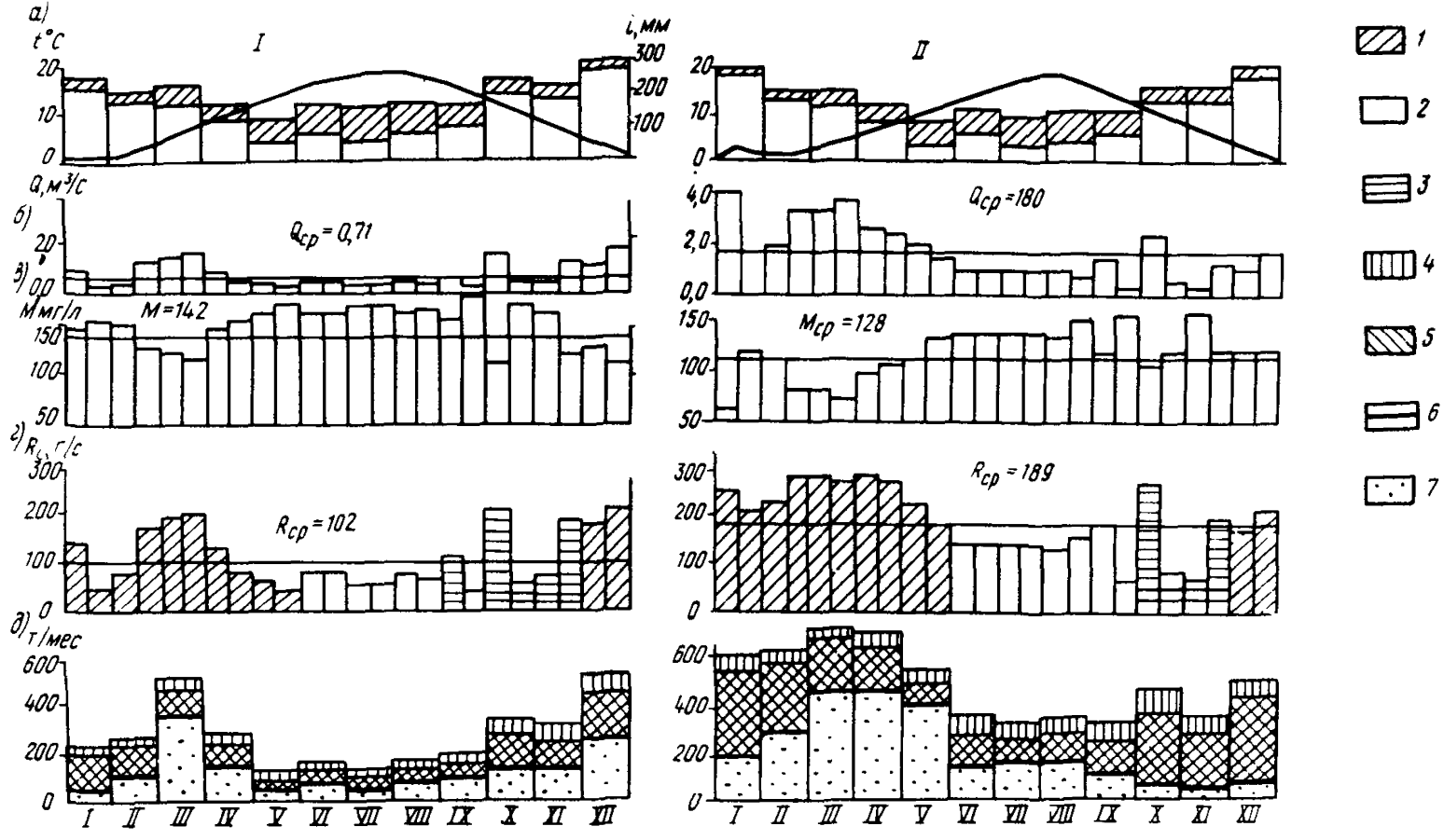


Рис.5. Годовой ход температуры воздуха, °С; атмосферных осадков и испарения, мм (а); расхода, м³/с (б); минерализации, мг/л (в); ионного стока, г/с (г) и т/мес (д), на массивах Алек (I) и Ахцу (II). Типы питания: 1 – снеговое; 2 – конденсационно-дождевое; 3 – дождевое. Составляющие ионного стока: 4 – атмосферные осадки; 5 – инфильтрация и инфлюация; 6 – конденсация; 7 – подземный сток

образом, конденсационная коррозия не играет существенной роли в формировании карстовых полостей, сохраняя некоторое значение лишь как моделирующий агент.

2.45. В различных карстовых районах можно предложить и другие схемы расчленения графика ионного стока. В районах развития открытого карста на основании изучения инфильтрации можно выделить поверхностную карстовую составляющую. В районах, где формирование карстовых полостей происходит под воздействием минеральных субтермальных вод, возможно выделение подземной минеральной составляющей.

3. КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Классификация карстовых полостей

3.1. В настоящих рекомендациях используется классификация, разработанная в Институте минеральных ресурсов Мингео УССР. Опыт использования этой классификации в карстовых районах СССР (Украина, Кавказ, Урал, Средняя Азия) свидетельствует о ее достаточной универсальности и прогностической ценности.

3.2. Карстовые формы предлагается подразделять на три группы: поверхностные формы располагаются непосредственно на выходах горных пород на поверхность; подземные заложены в карстующихся породах и соединяются с земной поверхностью естественными входными отверстиями; глубинные заложены в карстующихся породах, но соединяются с поверхностью искусственными входами (штольня, шахта, буровая скважина и пр.).

Для разделения поверхностных и подземных карстовых форм предлагается использовать морфометрические характеристики их привходовых участков [5].

3.3. Принадлежность подземной карстовой формы к тому или иному генетическому классу определяется на основании анализа степени влияния различных экзогенных факторов на формирование полости и ее вторичное моделирование. Выделяются три класса карстовых полостей: коррозионно-гравитационный, нивально-коррозионный, коррозионно-эрозионный. Типы и подтипы полостей в каждом из классов выделяются по морфологическим признакам, которые в свою очередь обусловлены влиянием геолого-структурных и гидродинамических особенностей данного карстового района.

3.4. Полости коррозионно-гравитационного класса представлены трещинными колодцами, шахтами, пещерами глубиной 5–100 м и длиной 10–165 м. Они используют трещины отседания и имеют форму клина, направленного острой частью кверху или книзу. Их морфологические особенности определяются литолого-текстурными особенностями карстующихся пород. Коррозионно-гравитационные полости чаще встречаются в районах, где карст находится в открытой и полуоткрытой стадиях развития.

3.5. Полости нивально-коррозионного класса представлены колодцами и шахтами глубиной до 60–70 м. Большинство полостей лишено поверхностных водосборов и располагаются в условиях, исключающих активную эрозионную проработку. По морфологическим признакам выделяются конусовидный, цилиндрический, щелевидный и сложный подтипы. Для полостей первых трех подтипов, имеющих большие входные отверстия, существует прямая зависимость между площадью входа и глубиной. Полость углубляется до тех пор, пока снег, попадающий в нее зимой, успевает полностью таивать летом. Если это не происходит, на дне полости накапливается офирнованный снег. Полости сложного подтипа имеют небольшие входные отверстия и неправильную конфигурацию. Обычно они располагаются под структурными уступами, где накапливается снег. Нивально-коррозионные полости чаще всего встречаются в районах низко- и среднегорного карста, находящегося в открытой стадии развития.

3.6. Полости коррозионно-эрозионного класса представляют наибольший теоретический и практический интерес. Они встречаются на плато и склонах

горных массивов, на склонах речных долин и на водоразделах, часто вскрываются горными выработками. Отдельные карстовые полости, отчлененные друг от друга обвальными, водными механическими, водными хемогенными отложениями или карстовыми сифонами, после проведения комплексных исследований часто объединяются в карстовые водоносные системы. Исходя из этого, в классе коррозионно-эрозионных полостей выделяются три типа: пещеры и шахты-поноры, вскрытые пещеры и пещеры-источники. Пещеры и шахты-поноры являются начальным звеном карстовых водоносных систем. Они располагаются в области их питания и тяготеют к современной или древней эрозионной и гидрографической сети. Вскрытие пещеры представляет среднее звено карстовых водоносных систем. Они располагаются на плато или междуречных водоразделах, реже – на склонах горных массивов и речных долин. Их горизонтальная часть – это древний или современный канал подземного стока, вскрытый денудацией, коррозией или эрозией. Полигенетичность горизонтальной и вертикальной частей определяют бесконечное морфологическое разнообразие. Пещеры-источники располагаются на склонах горных массивов, в бортах речных долин, в основании приморских береговых обрывов. Они представляют собой вводные каналы современных постоянных, периодических или древних карстовых источников. Коррозионно-эрозионные полости формируются на территориях развития преимущественно карбонатных и сульфатных пород, в условиях как равнинного, так и горного карста, находящегося в открытой, полуоткрытой и покрытой стадиях развития. Эти полости отличаются наибольшими размерами, имеют все типы отложений и представляют наибольший интерес как объекты комплексных исследований.

Морфология карстовых полостей

3.7. Изучение морфологии карстовых полостей предусматривает одновременное или последовательное применение морфографических, морфометрических и морфогенетических методов [5].

3.8. Морфографический метод заключается в описании отдельных элементов пещер и шахт и их изображении фотографическим способом.

В различных условиях применяются разные схемы описания. Его можно вести по крупным элементам подземного рельефа, описывая отдельно и целиком каждую галерею или зал; раздельно по своду, полу и правой стене, как горную выработку; по этажам; разноориентированным галереям (отдельно описываются галереи субширотного и субмеридионального простирания). Описание ведется от макро- к микроформам подземного рельефа. Описания снабжаются зарисовками и фотографиями.

3.9. Различается три основных вида фотодокументации: массовая, детальная и специальная. Массовая документация – это сплошная съемка стенок и сводов полости, увязанная с опорными пунктами топосети. Детальная фотодокументация производится только на интересных в геологическом отношении участках и также охватывает стены и потолок полости. Специальная документация применяется при проведении различных тематических исследований. Описание карстовых полостей обычно сопровождается двумя последними видами фотодокументации.

3.10. Для фотосъемки средних и дальних планов под землей обычно используются малоформатные фотоаппараты типа "Зоркий" или ФЭД с обычными или широкоугольными объективами "Орион-15", "Руссар МР-2", "Спутник-4". Большая глубина резкости этих объективов практически устраняет возможность нерезкого изображения объекта, а большой угол поля зрения позволяет вести съемку с расстояния 1,5–2,5 м. Для съемки ближних планов удобен "Зенит" с переходными кольцами. Из широкопленочных камер наиболее пригоден "Любитель". Для защиты от влаги фотоаппараты часто боксируются.

3.11. Для освещения применяются импульсные фотовспышки "Луч" или "Чайка". Для съемки широкоугольным объективом заводской отражатель заменяется пластиной с зеркальной поверхностью диаметром 14–16 см. Лампа-

вспышка боксируется в мягкий водонепроницаемый чехол с поглотителем влаги. Иногда для освещения используются осветительные смеси. Для пещерной съемки необходим жесткий и прочный (желательно телескопический) штатив, на который крепится столик для нескольких фотоаппаратов.

Съемка с искусственным светом дает очень контрастное изображение. Поэтому не рекомендуется пользоваться пленкой с чувствительностью более 90 ед. ГОСТ. Для ее проявления используются стандартные проявители метолгидрохинонового состав или фенидоновый проявитель, позволяющий повысить светочувствительность пленки в 4–5 раз. Состав фенидонового проявителя следующий: сульфат натрия – 100 г., гидрохинон – 5 г., бура – 5 г., борная кислота – 3,5 г, бромистый калий – 1 г, фенидон – 0,2 г, вода – до 1000 мл. Сульфит натрия и гидрохинон растворяются отдельно в объеме 500–600 $см^3$ при температуре 30–35° С. В объеме 300–350 $см^3$ при температуре 50–60°С растворяются поочередно бура, борная кислота, бромистый калий и фенидон. Затем оба раствора смешиваются и доводятся до объема 1 л. Фенидоновый проявитель лучше всего работает при разбавлении водой 1 : 1 и температуре 22°С, а при снижении температуры он мало отличается от обычных проявителей. При времени проявления 8 мин получается номинальная светочувствительность. Увеличение времени проявления на 4 мин повышает ее примерно вдвое. Это позволяет при времени проявления 19 мин получить для пленки 65 ед. ГОСТ светочувствительность 500, а для пленки 130 ед. ГОСТ – даже 700.

3.12. Рекомендуется подземная фотосъемка на диапозитивную пленку. Слайды дают хорошее представление о цветовой гамме пещер, хорошо отображают их объемы, являются лучшим средством демонстрации морфологических особенностей карстовых полостей. Но для геологической документации следует применять и черно-белые негативные снимки.

3.13. Для печати рекомендуется бумага УНИБРОМ с условными номерами от 4 до 7 и проявители АГФА-108 или КОДАК-11. Проявитель АГФА-108 имеет следующий состав: вода (30 – 45°С) – 750 мл, метол – 5 г, сульфит натрия безводный – 40 г, гидрохинон – 6 г, поташ – 40 г, бромистый калий – 5 г, вода холодная – долить до 1000 мл. Если проявитель разбавить водой, то отпечатки будут мягче.

3.14. Фотосъемка карстовых полостей имеет ряд специфических особенностей, требует значительного времени (10–12 мин на один качественный снимок) и определенного опыта. Самым сложным является выбор фонового, заполняющего и контурного освещения. Часто приходится применять боковую подсветку и метод "блуждающего блица". Для этого разработаны специальные светосинхронизаторы и фотовспышки со стабилизацией напряжения. При определении диафрагмы фотоаппарата следует учитывать не только ведущее число фотовспышки, но и фактуру и цветность объекта съемки. При съемке белых и увлажненных натеков реальное ведущее число оказывается в 1,5–2 раза выше номинального; в темных, покрытых глиной и обводненных полостях оно снижается на 50–70%.

Большое значение для документации морфологических особенностей обводненных полостей имеет подводная съемка.

3.15. Морфологические методы исследований дают исходный материал для решения ряда важных проблем практической спелеологии: происхождения карстовых полостей, относительно возраста их отдельных элементов и выполняющих отложений. Обычно они не используются самостоятельно, а комбинируются с другими видами исследований (морфометрическим, геологическим, седиментологическим, археологическим).

3.16. Морфометрические методы дают количественную характеристику элементов подземного рельефа. При этом используются данные топографической съемки карстовой полости и специально проведенные обмеры отдельных ее частей.

Материалы топосъемки позволяют определить ряд морфометрических показателей карстовых полостей. Их можно подразделить на несколько групп: линейные, площадные, объемные показатели, безразмерные, размерные отношения.

3.17. К линейным показателям относятся: средняя ширина и высота хода, глубина (высота) полости, амплитуда, протяженность, проектная длина полости; к площадным: площадь полости и площадь карстового массива, занятая полостью; к объемным – объем полости. Безразмерные отношения: индекс вертикальности, коэффициенты извилистости, площадной и объемной закарстованности; размерные отношения: удельный объем карстовой полости, коэффициент Корбеля.

Морфометрические показатели чаще всего применяются для сравнения карстовых полостей и отнесения их к разным классам по протяженности, глубине, площади, объему, удельному объему, коэффициенту Корбеля.

3.18. Перспективно использование морфометрических показателей для анализа особенностей морфологии полостей. Для этой цели удобны гистограммы и кривые распределения различных показателей (например, ширины и высоты). Для оценки гидрогеологических и инженерно геологических условий карстовых массивов часто используются статистические данные (средние длина, глубина, объем карстовых полостей). Кривые распределения большинства оценочных показателей карстовых полостей характеризуются асимметричностью.

3.19. Для установления различий в закарстованности разных районов используются следующие показатели: плотность карстовых полостей (число форм на 1 тыс. км^2) и густоту (м/км^2): анализируются особенности их распределения.

Перспективно использование морфометрических показателей для уточнения принадлежностей карстовой полости к той или иной генетической группе и для анализа условий ее формирования.

3.20. Морфогенетические методы имеют целью выделение причинных связей между морфологией карстовых полостей и факторами, определяющими возникновение, развитие и преобразование макро-, мезо- и микроформ подземного рельефа.

При морфогенетических исследованиях карстовых полостей используются такие же методы, как и при проведении аналогичных работ на поверхности. Метод корреляции синхронных форм и отложений основывается на законе сопряженности процессов размыва, растворения и обрушения с одной стороны и аккумуляции – с другой. Метод гетерохронных форм заключается в определении относительного возраста элементов подземного рельефа по возрасту примыкающих к ним датированных форм и отложений. Метод наложенных форм основывается на том, что каждая наложенная форма рельефа моложе той, на которую она наложена, в которую врезана или к которой прислонена. Метод реликтовых форм основан на том, что каждая прогрессивно развивающаяся форма рельефа моложе той реликтовой формы, за счет которой она развивается.

3.21. Кроме этих четырех геоморфологических методов, при морфогенетических исследованиях широко применяются обычные геологические методы (сингенетических отложений, фациальных переходов) и различные специальные методики определения возраста пещерных отложений.

3.22. Морфогенетические исследования под землей должны обязательно сочетаться с геоморфологическими работами на поверхности. Чтобы правильно расшифровать происхождение и возраст отдельных форм спелеорельефа следует получить всестороннюю характеристику генетического фона развития карста района, причем не только в пределах орографического водосбора, где в настоящее время располагается вход в полость, но и за его пределами, на той территории, откуда она могла получать сток ранее.

3.23. При морфогенетических исследованиях следует стремиться решить три проблемы: оценить влияние на морфологию полости геолого-структурных особенностей района, гидрогеологических условий ее образования и характера заполнения.

3.24. Геолого-структурные и литолого-текстурные особенности района определяют характер заложения полости, ориентировку и форму ее ходов. Следует различать следующие геологические ситуации заложения карстовых полостей: в горизонтально залегающих породах; в моноклинально залегающих породах, в породах, смятых в синклинальные, антиклинальные и брахи-

складки (Воронцовская пещера), в породах, разбитых на разноприподнятые блоки (Красная пещера, шахты массива Алек), в породах, перекрытых чешуями тектонических покровов.

Необходимо проследить, как меняется морфология полости при переходе из одной литолого-текстурной разности пород в другую. Для карстовых полостей Крыма установлены четкие зависимости между текстурными особенностями вмещающих известняков, количеством карстовых полостей разных генетических классов и их морфологией. Большинство нивально-коррозионных полостей заложено в неслоистых и толстослоистых известняках; однако колодцы и шахты, заложенные в среднеплитчатых и тонкоплитчатых известняках, имеют значительно более сложную конфигурацию. Коррозионно-эрозионные полости, напротив, преобладают в слоистых известняках. Их морфология обнаруживает четкие связи с литолого-текстурными особенностями вмещающих пород.

3.25. Огромную роль в заложении полости и ее морфологии играет тектонический контроль. В разбитой на блоки толще известняков карстовые полости часто формируются в приразломной зоне тектонической трещиноватости.

В пределах отдельного тектонического блока или элемента складчатой структуры (крыла антиклинали и пр.) определяющую роль в формировании отдельных элементов спелеорельефа играет внутриблоковая трещиноватость. Частота внутриблоковых трещин определяет длину прямолинейных участков ходов, наличие пересечений (узлов), конфигурацию их в плане и разрезе. Для изучения внутриблоковой трещиноватости используются планы пещер и шахт, выполненные в самых крупных съемочных масштабах (1 : 100; 1 : 200; 1 : 500).

3.26. Спелеоструктурный анализ полезен при оценке геологических условий и инженерно-геологических свойств горного массива в плане и в разрезе. Глубокие карстовые полости обычно используют в заложении не только внутриблоковую трещиноватость, но и крупные разрывные нарушения. Изучение особенностей заложения таких полостей позволяет получить информацию о блоковом строении карстовых массивов и уменьшить разрыв между исследованиями макроособенностей горных пород в полевых и лабораторных условиях.

3.27. Для оценки происхождения полости следует учитывать ее форму в плане, в продольном и поперечных разрезах, мезо- и микроформы на ее стенах и сводах. Полостям вадозного происхождения свойственны горизонтальные каналы, развивающиеся по напластованию; купола в сводах; подвески, сохранившие следы эрозионной обработки; эрозионные котлы (мармиты); желоба, прорезающие вмещающие породы и заполнитель. Для полостей фреатического происхождения характерны губчатость (мелкие отверстия и пересекающиеся каналы); сетчатость (наличие пересекающихся систем ходов); жилоподобные каналы по напластованию и тектоническим трещинам; округлые карманы, полутрубы и трубы в стенах и сводах; глинистые ячеи и ребра на стенах.

3.28. Особое внимание следует уделять морфогенетическому изучению обводненных пещер с использованием акваланга и аппаратуры для подземно-подводной фотосъемки.

3.29. Изучение морфологии карстовых полостей позволяет определить направления подземных потоков (по ориентировке острых ребер эрозионных фасеток), уровни длительного стояния подземных вод (по горизонтальным желобам), скорость движения воды в разных частях полости (совместное решение уравнений неразрывности потока и уравнения Бернулли для сечений, расположенных на разной высоте).

Для корреляции этажей карстовых полостей с ярусами террас речных долин в горных районах для карстовых полостей, расположенных на высоко приподнятых массивах (1000–2000 м), необходимо учитывать не только террасы в долинах рек, но и различные поверхности выравнивания. Следует коррелировать с ними не только субгоризонтальные пещеры, но и субгоризонтальные участки карстовых шахт, разделенные колодцами разной глубины.

3.30. Перспективен геоморфологический и математический анализ разверток вертикальных карстовых полостей. Продольный профиль многих из них, имея ступенчатый вид, в то же время по днищам колодцев хорошо описывается уравнением вида $y = a\,l^{-bx}$. Параметры этого уравнения меняются в зависимости от изменений условий заложения и питания карстовой полости.

Для понимания условий образования карстовых полостей следует решить вопросы об автохтонности или аллохтонности отложений карстовой полости по отношению к вмещающей породе и породам, развитым в пределах данного горного массива (это касается в основном водных механических отложений), об этапности осадконакопления в полости.

Для этого необходимо изучение возможно более полных разрезов рыхлых отложений пещер с обязательным вскрытием коренных пород. Несоблюдение этого правила может привести к грубым ошибкам в трактовке происхождения полости.

3.31. При оценке этапности осадконакопления следует проанализировать взаимоотношения отложений разных генетических типов.

При изучении отложений карстовой полости надо исследовать их соотношения с микро- и мезоформами спелеорельефа.

Иногда морфогенетический анализ следует проводить совместно с изучением поверхностного рельефа.

3.32. Морфогенетические методы исследований в сочетании с методами определения абсолютного и относительного возраста отложений карстовых полостей позволяют сделать заключение о геологическом времени их образования.

Геология карстовых полостей

3.33. Геологические наблюдения под землей преследуют две цели: определить геологические условия заложения данной карстовой полости и получить новую информацию о геологическом строении района. При этом используются как стандартные, описанные во многочисленных руководствах, так и специальные методики исследований. В настоящих Рекомендациях основное внимание уделено специальным методикам.

3.34. Карстовая полость может документироваться как естественное обнажение (методом опорных разрезов) или как горная выработка (с непрерывным геологическим описанием правой, левой стены, потолка и пола). При маршрутных исследованиях, как правило, применяется первый метод или его комбинация со вторым (раздельное описание наиболее характерных обнажений по левой и правой стенкам).

Каждая точка описания привязывается к плану и разрезу полости; она получает или специальный порядковый номер (отдельно для каждой полости), или номер пикета топографической съемки.

3.35. Описание обнажений производится в естественной последовательности слоистых толщ – от более древних к более молодым слоям. Такой порядок удобнее еще и потому, что при подъеме вверх по обнажению всегда фиксируется больше деталей, чем при спуске. Кроме того, при отборе проб не возникает опасность их засорения. Следует придерживаться стандартной схемы макроскопического описания: 1. Название пещеры; 2. Цвет породы; 3. Слоистость (рекомендуется использовать схемы, приведенные в табл.4, 5); 5. Состав (для обломочных пород – отдельно состав обломков и состав цемента); 6. Крепость и пористость; 7. Включения; 8. Вторичные изменения.

3.36. Образцы вмещающих пород отбираются послойно в количествах, достаточных для всех дальнейших лабораторных определений. Для изготовления шлифов достаточно 0,1 кг породы, размер образца 2 х 3 см; для определения объемного веса – 0,2 – 0,3 кг; карбонатного и ремического анализа – 0,2–0,3 кг; химического и минералогического анализа – до 1 кг; спектрального анализа – до 50 г. Структурные и текстурные характеристики породы, зависящие от ее вещественного состава, условий отложения и преобразования осадка, исследуются при литолого-фациальном анализе, проводимом как в полевых условиях, так и камерально. Под микроскопом изучаются большие

Таблица 4

Текстурные разности известняков	Мощность слоев, м	Генетические разновидности пород	Структуры пород	
			однородные	неоднородные
Неслоистые	–	Биогенные, ракушечниковые грубообмолоченные известняки, известковые глыбобрекчии	–	Сгустковые, пятнистые, разнозернистые, перекристаллизованные
Толстослоистые	Более 0,5	Ракушечниковые, детритусовые, желваковые известняки	Равномерно-зернистые (редко)	Сгустковые, разнозернистые, частично перекристаллизованные, желваковые
Среднеплитовые	0,3–0,5	Ракушечниковые, детритусовые, онколитовые, редко оолитовые и афанитовые известняки	Равномерно-оолитовые, тонкозернистые (редко)	Частично перекристаллизованные, желваковые, комковатые
Тонкоплитчатые	0,1–0,3	Оолитовые, детритусовые, шламовые, песчанистые, афанитовые известняки	Мелкоолитовые, мелкодетритусовые, тонкозернистые	Обломочно-зернистые, перекристаллизованные
Листовые	Менее 0,1	Афанитовые, глинистые известняки	Тонкозернистые	Взмученные (очень редко)

Таблица 5

Текстурные разновидности известняков	Мощность слоев, м	Число проб	CaO	MgO	MnO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	SiO_2	P_2O_5	H_2O	CO_2	п. п. п.
Неслоистые	–	156	53,1	0,8	0,01	0,28	0,44	0,13	1,17	0,04	0,14	44	0,24
Толстослоистые	0,5	116	52	1,32	0,02	0,58	0,96	0,21	2,12	0,08	0,27	42,8	0,34
Среднеплитовые	0,3–0,5	97	53,1	1,54	0,03	0,73	1,02	0,23	3,52	0,12	0,36	42,2	0,31
Тонкоплитчатые	0,1–0,3	54	49,6	1,85	0,01	0,75	1,1	0,19	4,1	0,04	0,37	41,6	0,27
Листоватые	0,1	26	44,5	1,96	0,04	1,34	2,4	0,26	11,3	0,1	0,49	38,3	0,57

шлифы (площадь 16–20 см²), где можно наблюдать переход одних микроструктур в другие, выяснить характер вторичных процессов. В таких шлифах необходимо определять поровую и трещинную проницаемость. Для выделения разновидностей пород следует определять водно-физическую и инженерно-геологические характеристики. Путем статистической обработки последних выявляется ряд факторов, влияющих на скорость карстообразования, морфологию карстопроявлений и интенсивность карстового процесса.

На образец сразу же наклеивается этикетка, на которой указывается временный номер. В мешочек обязательно вкладываются 2–3 контрольных этикетки, так как во время транспортировки образцов на поверхность часть из них обычно истирается или размокает. На поверхности производится первичная обработка образца (он оббивается до необходимых размеров) и его повторное этикетирование. Каждый образец обычно получает двойную нумерацию: порядковый номер по журналу (под этим номером он поступает далее в лабораторию) и номер внутри данной полости.

3.37. После общего описания обнажения вверх по разрезу определяются элементы залегания пород (угол падения, азимут падения, азимут простирания). При этом необходимо всегда записывать простирание галереи (фронта обнажения) и стараться контролировать правильность замеров элементов залегания по противоположным стенам и своду полости. Следующий этап – замеры тектонической трещиноватости.

3.38. Отдельно описывается заполнитель карстовых полостей. При этом используется его генетическая классификация. Особое внимание необходимо обратить на связи заполнителя со вмещающими породами: приуроченность обвальных отложений к определенным текстурным разностям пород или к зонам смены их литологического состава; характер заполнения водными механическими отложениями различных по генезису углублений в коренных породах (трещин, коррозионных или эрозионных форм); связь водных хемогенных отложений разного состава с фильтрующими трещинами в своде и стенках; приуроченность автохтонных кристаллов к определенным геохимическим зонам. Эти наблюдения должны тесно увязываться с морфогенетическими исследованиями. В ряде случаев изучение обвальных отложений дает ценную информацию о литологии покровных отложений и вскрытии их карстовой полостью (присводовая часть карстовых полостей обычно недоступна для прямых наблюдений).

3.39. Завершив исследования на первом обнажении, геолог перемещается вдоль полости к следующему. Непрерывные наблюдения при этом производятся только в вертикальных полостях. На субгоризонтальных участках между обнажениями производятся контрольные замеры элементов залегания и фиксируются тектонические трещины. Следующее обнажение выбирается таким образом, чтобы получить непрерывное описание разреза.

3.40. Особое внимание уделяется описанию тектонических нарушений, сопровождаемых смещением пород. Последнее вызывает формирование брекчии трения, в которой обломочный материал подвергается разлинзованию с образованием многочисленных зеркал скольжения. В зависимости от величины обломков различают какирит (размеры обломков до 1 см позволяют визуально установить состав раздробленной породы), катаклазит (зерна минералов, слагающих породу, раздроблены или изогнуты) и милонит (порода тонкоперетерта и перекристаллизована). В тектонической брекчии резко меняется морфология субгоризонтальных ходов полостей и закладываются вертикальные колодцы и шахты. Следует иметь в виду, что тектонические нарушения не обязательно сопровождаются зонами дробления. В таких случаях нарушения фиксируются несогласным залеганием пород.

Документируя зону тектонического нарушения, следует попытаться установить его характер и элементы (приподнятое или лежачее крыло, опущенное или висячее крыло, сместитель, угол падения сместителя, амплитуда смещения по сместителю, вертикальная и стратиграфическая амплитуда).

3.41. Обработка материалов геологической съемки производится на поверхности. На основании замеров элементов залегания пород на разной глубине строится структурная схема и разрезы через блок, в котором заложена полость. На этом этапе желательно иметь сводный геологический разрез

через горный массив (водораздельное пространство) с тем, чтобы можно было увязать данные поверхностной и подземной геологической съемок. На основании этих данных геологическая ситуация наносится на план, продольный и поперечный разрезы карстовой полости.

3.42. При инженерно-геологических исследованиях карстового массива в пещерах и шахтах следует отбирать крупные (10 кг и более) ориентированные монолиты горных пород для проведения всех видов геологических, инженерно-геологических и параметрических геофизических исследований. На основании этих данных иногда удается разработать шкалу понижающих коэффициентов, которые следует применять, оценивая прочность карстового массива в целом по прочности отдельных образцов.

3.43. Достоверность выводов о роли тектонической трещиноватости в развитии карстовых полостей и их обводнении зависит от качества и количества фактического материала. Следует стремиться к максимальной точности получаемых численных значений параметров трещин, а оценку их качественных характеристик вести единообразно – в соответствии с заранее выработанной классификацией. Нельзя добиться повышения точности только за счет увеличения числа замеров. Более того, наблюдения сомнительного качества нужно исключать из статистического набора данных.

В карстовой полости желательно получить характеристики трещиноватости отдельных участков (замерных площадок). Для каждой из них определяется: положение на плане и разрезе; морфологический тип (зал, галерея, колодец и пр.); ориентировка плоскости замера и ее размеры; вмещающие породы и их залегание.

3.44. Описание трещин может вестись по вопроснику или путем заполнения заранее подготовленных бланков. Оно включает: ориентировку трещин (для вертикальных – азимут простирания, для наклонных – азимут и угол падения); протяженность – зияние трещинной полости с характеристикой выдержанности; расстояние от предыдущей трещины той же ориентировки – наличие следов сдвижения на стенках трещины; наличие заполнителя и его состав; обводненность трещинной полости с оценкой дебита; наличие движения воздуха в трещинной полости; характер породы, рассекаемой трещиной (коренная или натек); характер проявления трещины (высачивание воды, прокрашивание следа, формирование цепочек сталактитов или натечных гребней).

3.45. По степени заполнения целесообразно выделять четыре класса трещин: незаполненные (00), слабо заполненные (01), сильно заполненные (10) и полностью заполненные (11). По типу заполнения – кальцитовое (к), железистое (ж), баритовое (б), гипсовое (г), глинистое (гл), песчанистое (пс), гравийное (гр), щебнистое (щб), карстовая брекчия (брк), тектоническая брекчия (брт) и т.п.

По форме могут быть выделены трещины: прямые ровные (пр) и извилистые (пи), дугообразные ровные (др) и извилистые (ди), S - образные ровные (ср) и извилистые (си). По характеру стенок – сглаженные или зеркала скольжения (з), гладкие (г), шероховатые (ш), неровные (н) и бугристые (б).

3.46. Желательно стремиться к документации всех трещин, развитых на исследуемом участке полости (замерной площадке). При очень большом их количестве или ограниченности времени исследований следует провести не менее 40 замеров. Для каждой площадки дается обобщающая характеристика трещиноватости: перечень главных систем трещин; густота трещин каждой системы (количество трещин на 1 м по нормали к их плоскости); приуроченность к трещинам отдельных элементов спелеорельефа; характеристика объемной плотности трещин на основе замеров густоты трещин по трем взаимно перпендикулярным направлениям:

$$T = (\Gamma_x + \Gamma_y + \Gamma_z + \sqrt{\Gamma_x^2 + \Gamma_y^2 + \Gamma_z^2})/2, \qquad (13)$$

Обязательно отмечается, учтено ли магнитное склонение при записи ориентировок.

В карстовых полостях не всегда удается произвести замеры истинной ориентировки трещин или слоистости горных пород. Чаще из-за сглаженности стен или наличия заполнителя могут быть измерены лишь падения их следов в сечениях, не соответствующих истинному падению. Необходима реконструкция реальных элементов ориентировки. Ее можно произвести двумя способами: графоаналитическим и аналитическим [5].

При наличии большого числа замеров следов трещин рационально вести их перерасчет в камеральных условиях, используя ЭВМ.

3.47. Первичная обработка фактического материала включает группирование замеров в соответствии с поставленной задачей: по литологическим разновидностям пород, по степени удаленности замерной площадки от разрывного нарушения, по положению на элементах пликативной структуры, по генетическим типам трещин и т.п. Результаты полевых исследований переносятся в участковые и сводные таблицы, при этом один и тот же замер может быть помещен в разные по назначению таблицы (например, в таблицу трещиноватости коренных пород и в таблицу обводненных трещин). Замеры подразделяются на десятиградусные классы по углам и азимутам, причем для простирания производится перерасчет ориентировок в два верхних квадранта (частоты классов, отличающихся на 180°, объединяются).

Таблицы необходимы для построения графических материалов и для математической обработки материалов с использованием статистического, корреляционного, регрессивного анализа трещиноватости.

3.48. Графический метод анализа заключается в построении и составлении различных диаграмм и графиков, отражающих закономерности распределения в пространстве различных параметров трещиноватости или позволяющих свернуть информацию, преобразовав данные о трещинах в данные о трещиноватости.

Наиболее употребительны диаграммы-розы простираний трещин, точечные круговые диаграммы, отражающие азимуты и углы падения, и построенные на их основе круговые диаграммы в изолиниях плотности трещин.

Графики отражают изменения различных параметров трещиноватости (плотности или густоты трещин, средних или экстремальных углов падения, суммарных векторов падения или простирания) в зависимости от физических свойств пород, элементов тектонической структуры и т.п.

3.49. Наиболее рациональна обработка замеров трещин на ЭВМ. При этом могут быть не только получены количественные характеристики, но построены графики и структурные диаграммы на стереографических проекциях. Программы для анализа трещиноватости на ЭВМ имеются в ИМР Мингео УССР. Пять из семи программ этого комплекса предназначены для анализа трещиноватости: четыре для построения диаграммы и одна для расчета направлений главных нормальных напряжений по методу Гзовского. Они составлены на языке АЛГОЛ-60 для транслятора, используемого на ЭВМ с системой команд типа М-20: БЭСМ-4М, М-220, М-222. Исходные данные вводятся в ЭВМ на перфокартах, выдача результатов счета производится на АЦПУ в виде круговых диаграмм диаметром 10 или 20 см (по желанию пользователя) и таблиц.

Программа ДИАГР-1 предназначена для построения структурных диаграмм массовых замеров трещин. Подсчет точек в 1%-ном скользящем окне производится непосредственно на сфере с расположением ее центра в точках, сопутствующих на проекции узлам сетки ячейки 3 х 4 мм или 10 х 10 мм. Массив из 150 замеров обрабатывается в течение 10 мин. Каждая диаграмма должна содержать не более 300 замеров.

Программа ДИАГР-2 обеспечивает выбор из нескольких частных массивов лишь тех замеров, которые принадлежат к одному классу структурных элементов (например, только трещины скола), и построение по ним суммарной диаграммы. Время счета составляет около 30 мин для двух исходных массивов с общим количеством замеров в 250 единиц.

Программа ДИАГР-3 служит для построения диаграмм ориентировок трещин и их поворота на любую заданную плоскость в пространстве. Это бывает необходимо при анализе связи трещиноватости с элементами залегания слоистых толщ, с разрывными дислокациями, а также при проектировании диа-

грамм на различно ориентированные разрезы и планы. Обработка массива в 150 замеров с одним поворотом в новое положение на ЭВМ БЭСМ-4 составляет 20 мин.

Программа СУММА используется для построения суммарных диаграмм ориентировок различных структурных элементов. Суммирование частичных диаграмм особенно необходимо при анализе микротрещиноватости, определяемой по ориентированным шлифам, часто применяется и при анализе визуально наблюдаемых трещин. Время счета зависит от числа суммируемых массивов – 10 мин на каждый. Исходные диаграммы не должны содержать более 500 замеров.

Программа СИГМА предназначена для расчета полярных координат осей главных нормальных напряжений по сопряженным сколовым плоскостям, которые также заданы в сферических координатах. Время счета для 150 пар сколов составляет около 5 мин.

3.50. Вычислительные (аналитические) методы позволяют свернуть информацию и представить совокупность трещин данной площадки в виде суммарного вектора, имеющего определенную ориентировку, длину и модуль. В качестве исходного материала могут быть взяты замеры падения или простираний. Вычислительная схема в обоих случаях одинакова [5].

3.51. Для гидрогеологической оценки трещиноватости используются результаты изучения раскрытия трещин. При наличии данных о зиянии трещинного пространства Z_k может быть рассчитана величина средней раскрытости для каждой из трещинных систем:

$$Z_k = S_k / L_k,$$
$$L_k = \sum_{i=1}^{n} l_i, \quad S_k = \sum_{i=1}^{n} l_i Z_i, \tag{14}$$

где l_i – протяженность трещины, имеющей зияние Z_i.

Аналогично может быть подсчитана и средняя раскрытость суммарной трещиноватости:

$$Z_{ср} = \sum_{k=1}^{N} S_k / \sum_{k=1}^{N} L_k, \text{ м}, \tag{15}$$

где N – число зафиксированных систем трещин с зиянием.

На основании этих данных может быть определен коэффициент трещинной пустотности:

$$K_z^o = Z_{ср} T, \tag{16}$$

где T – объемная плотность.

Если имеются оценки усредненных векторов для каждого из наблюдающихся пиков, то легко рассчитать суммарный вектор трещинной проницаемости по изложенной выше расчетной схеме, при этом прямоугольные координаты будут иметь следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^{N} \cos\varphi_i \cos\alpha_i Z_i n_i; \\ y &= \sum_{i=1}^{N} \sin\varphi_i \cos\alpha_i Z_i n_i; \\ z &= \sum_{i=1}^{N} \sin\alpha_i Z_i n_i, \end{aligned}\right\} \tag{17}$$

где n_i – количество трещин, формирующих i-пик.

3.52. Статистический анализ рекомендуется к широкому применению в анализе трещиноватости. Средние значения угла падения трещин регулируются с физико-механическими свойствами пород, а дисперсия или средние квадра-

тические отклонения – с расстояниями замерных площадок от разломов. Усредненные показатели интенсивности трещиноватости возрастают в пределах приразломной зоны, причем их абсолютные величины в опущенных крыльях сбросов больше, чем в лежачих, а максимумы, как правило, характерны для участков, располагающихся на некотором удалении от сместителя.

Статистики распределений используются для последующих графических построений зависимостей между ними и пространственным размещением точки замера на профиле или плане. Для установления и обобщенного описания таких закономерных связей, их последующего использования в составе прогнозных моделей целесообразно применять корреляционный и регрессионный анализы в соответствии с методиками, изложенными в руководствах по применению математических методов.

3.53. При изучении карстовых полостей анализ трещиноватости может быть использован для уточнения геологического строения участка и его гидрогеологических особенностей, выявления направлений, перспективных для разведки неизвестных галерей и ходов, для морфогенетического анализа, оценки устойчивости сводов, прогноза путей обводнения. Очень важен анализ временной последовательности формирования трещин, карстовых полостей и их заполнителя. Большой интерес представляет сравнительный анализ простираний основных систем тектонических трещин в исследуемом районе, ориентировки поверхностных форм мезо- и микрорельефа (фрагментов эрозионной сети, структурных уступов, цепочек воронок и пр.), мезо- и микрорельефа карстовых полостей (ориентировка галерей, длина прямолинейных участков, частота микроформ на сводах и стенах и пр.). Для этого следует использовать изложенные методы и способы обработки ориентированных величин.

Гидрология карстовых полостей

3.54. Гидрологические наблюдения являются одним из важнейших этапов изучения карстовых полостей. В сочетании с другими методами исследований они позволяют восстановить современные и палеогидрологические условия формирования пещер и шахт, оценить их гидрогеологическое значение и возможности безопасного использования в различных хозяйственных целях, рассчитать активность карстового процесса для разных гидродинамических зон.

3.55. Маршрутные исследования проводятся на поверхности и под землей. Работы на поверхности заключаются в обследовании вероятных областей питания и разгрузки подземных вод изучаемого карстового района или участка. В области питания выясняются условия формирования подземного стока (инфильтрационное дождевое или снеговое, инфлюационное снеговое, ледниковое или речное питание), определяется площадь питающего водосбора и его параметры, необходимые для расчета максимального ливневого стока по формулам предельной интенсивности, продолжительности ливня заданной повторяемости и стока при снеготаянии. При наличии постоянного или периодического стока в полость определяются его расход в момент обследования (поплавковый, вертушечный способы, водослив, метод ионного паводка), горизонты высоких вод, размеры наиболее крупных валунов либо фракционный состав аллювия для расчета максимальных скоростей и расходов по формулам Шези, Шамова или по нормативным материалам Гидропроекта. Замеряется температура всех поверхностных водопроявлений, отбираются пробы на химический анализ, в случае необходимости и на мутность. В предполагаемой области разгрузки карстовых вод производится обследование всех наземных источников по стандартной программе. При невозможности определить расход источника (несосредоточенные выходы из глыбового навала, субаквальная разгрузка и пр.) организуются детальные гидрометрические работы на реке выше и ниже выходов подземных вод. Методика их проведения обычная. Количество промерных вертикалей на профилях подбирается в зависимости от ширины реки таким образом, чтобы обеспечить необходимую точность расчетов (ошибка порядка 1–5%). Этот же способ применяется при необходимости определения потерь поверхностного стока при пересечении рекой закарстованной зо-

ны, или зоны тектонического нарушения. При субмаринной разгрузке карстовых вод применяются специальные методы исследований, в том числе работы с аквалангом. Определяется температура воды в источниках, отбираются пробы на химический анализ и на мутность. Решается вопрос о возможности использования для дальнейших расчетов данных ближайших метеостанций.

3.56. Гидрологические наблюдения в карстовых полостях сводятся к выявлению всех точек обводненности и нанесению их на планы и разрезы в виде специальных условных знаков (мокрые пятна, пятна с каплями, капель, сочащаяся вода, сконцентрированный водоприток и пр.). Выявляются структурно-геологические условия обводненного участка и происхождение воды (инфильтрационная, инфлюационная, конденсационная). Для этого используются данные о температуре воды и ее химический состав. Определяется расход воды (объемным методом, водосливом, вертушкой), фиксируются морфологические следы изменений уровней воды (примазки глины, натечные коры, изменение цвета породы и пр.). Отбираются пробы на химический анализ.

В шахтах-снежниках определяются площадь и мощность снежно-ледового покрова, объем, плотность по различным горизонтам. Подсчитываются запасы воды в снеге и льде на момент обследования.

В карстовых полостях с реками и озерами производятся подземные гидрометрические работы по обычной методике. Все водотоки и водоемы тщательно картируются. В описании указываются длина отдельных участков, места выхода или ухода под глыбовый навал или коренные стены, участки бифуркации, ширина, глубина по продольному профилю и типичным поперечникам, наличие, состав и отсортированность подземного аллювия, наличие водных хемогенных отложений (гуры, оторочки). Определяются площадь и объем озер, степень их проточности, выясняются условия, при которых начинается транзитный сток через озера. Отбираются пробы на химический анализ. Сопутствующие морфологические наблюдения заключаются в выяснении особенностей современных и древних форм подземного эрозионного рельефа, установлении характера продольного профиля подземного потока, выявлении причин возникновения первичных (эрозионно-тектонических) и вторичных (аккумулятивных) перепадов и сифонных участков.

3.57. Гидрометрические работы под землей сложны. Небольшая глубина полости, извилистость русла, наличие глыбового навала ограничивают возможности использования самого точного вертушечного метода. Для надежного применения водослива необходимо проведение специальных инженерных работ. Объемный метод часто трудно использовать. Равноточные замеры с использованием одинаковых методов можно выполнить не более чем один–два раза на километр потока. Между тем, на этом расстоянии обычно имеется до десятка различных водопритоков. Для определения их расхода можно использовать метод смешивания. Пусть сливаются два притока с расходами Q_1 и Q_2, минерализацией M_1 и M_2 и температурой T_1 и T_2. Возникший водоток имеет параметры $Q_c = Q_1 + Q_2$, M_c, T_c. Легко показать, что

$$Q_1/Q_2 = (M_c - M_2)/(M_1 - M_c); \tag{18}$$

$$Q_1/Q_2 = (T_c - T_2)/(T_1 - T_c). \tag{19}$$

Отсюда, зная температуру и минерализацию всех трех потоков и расход первого притока, легко определить расход второго притока

$$Q_2 = [Q_1 (M_1 - M_c)]/(M_c - M_2) \tag{20}$$

или

$$Q_2 = [Q_1 (T_1 - T_c)]/(T_c - T_2). \tag{21}$$

Приравняв левые части уравнений (20) и (21) и сделав ряд преобразований, можно определить температуру и минерализацию смеси двух вод

$$T_c = [(T_1 - T_2)/(M_1 - M_2)]\, M_c + (M_1 T_2 - M_2 T_1)/(M_1 - M_2); \qquad (22)$$

$$M_c = M_1 [(T_c - T_2)/(T_1 - T_2)] + M_2 [(T_1 - T_c)/(T_1 - T_2)]. \qquad (23)$$

Применив эти приемы последовательно ко всем водотокам карстовой системы, легко рассчитать структуру ее водопритоков по единичным замерам объема в тех точках, где это возможно. Расчеты по уравнению (23) можно упростить, если ввести в него не общую минерализацию, а какой-либо характерный или легко определяемый ее компонент (ион кальция, хлора и т.д.).

3.58. Стационарные наблюдения возможны только в карстовых полостях, оборудованных для использования в качестве гидрогеологических и биспелеологических лабораторий или туристско-экскурсионных объектов. Стационарные наблюдения принципиально отличаются от маршрутных и полустационарных наличием ряда подземных и поверхностных наблюдательных пунктов (станций, створов), оборудованных стандартными и специально сконструированными приборами повышенной точности, имеющими дистанционное питание и регистрацию сигнала.

Детальный анализ лент самописцев уровней и расходов подземных потоков позволяет ввести существенные уточнения в формулу, описывающую кривую истощения, расчленить кривую истощения $Q = Q_0 t^{-\alpha t}$ на ряд участков, отвечающих быстрой фильтрации, замедленной фильтрации, а иногда и подтоку воды из зон сифонной циркуляции. Анализ кривых истощения при различной начальной величине дебита источника дает представление о строении верхних гидродинамических зон и позволяет построить модель карстового пространства. Применение непрерывной спектрофотометрической записи количества красителя (например, флюоресцеина) в подземных водах дало возможность резко сократить количество используемых реактивов (до сотен граммов на один эксперимент) и точно фиксировать его прохождение через наблюдательный створ во времени. Это позволяет по-новому, на количественном уровне, решать проблему массопереноса в карстовых массивах.

Микроклимат карстовых полостей

3.59. Излагаются рекомендации по трем основным разделам методики микроклиматических исследований: применяемым приборам, производству наблюдений и обработке их результатов.

3.60. К основным микроклиматическим параметрам любой карстовой полости относятся давление, температура, влажность, скорость и направление движения, а также газовый состав воздуха. Для их определения используются стандартные приборы: барометр-анероид (ошибка ±100 Па), срочные, максимальные и минимальные термометры (ошибка ±0,1–0,2°С), аспирационный психрометр (ошибка ±1–2% влажности), крыльчатый или чашечный анемометры (ошибка +0,1–0,2 м/с), газоанализаторы и газоопределители (ошибка +0,5% CO_2 или CH_4). Непрерывная регистрация изменений температуры, влажности и давления воздуха производится суточными или недельными термографами, гигрографами и барографами (ошибка +1°С, мб, 1% относительной влажности соответственно). Эти приборы имеют значительную инерцию; их часовые устройства и чувствительные элементы не защищены от механических повреждений и плохо работают при 100%-ной влажности воздуха.

Применение стандартных метеоприборов правомерно при анализе взаимодействия наземной и подземной атмосферы для получения общей характеристики микроклимата карстовых полостей. Однако их характеристики (недостаточная локальность измерений, малая точность, высокая инерционность и т.д.) не позволяют выяснить детали микроклимата пещер, его влияние на процессы конденсации влаги, образования пещерного льда и карбонатных натеков. Необходимо применение для этих целей приборов, обладающих

более высокой точностью (ошибка измерения температуры +0,01°С; относительной влажности +0,5% в диапазоне 90–100%; скорости движения воздуха +0,1 м/с; давления +10 Па), низкой инерционностью и требуемой локальностью измерительных средств. Кроме того, прибор должен быть прочным, герметичным, легким, миниатюрным; желательно наличие автономных источников питания и возможность разъединения блоков питания, приемных и регистрирующих устройств. Последнее требование особенно важно для организации дистанционных замеров, так как тепловыделение наблюдателя может вызвать изменение температуры и влажности в полости. Можно использовать для работы в карстовых полостях аппаратуру, применяемую в рудничной аэрологии: термоэлектрический абонент АТЭ-2, микробарометры МБ-63, МБ-1, МБНП, микроманометры ЦАГИ, ММН, депримометр Комарова–Гескина, микробарограф СМБ-1, а также другие специальные разработки после обязательной проверки (градуировки) по стандартным метеорологическим приборам или образцовым мерам. Одновременно следует применять специальные методы (кататермометр, методы диафрагм, инертных дымов, аэрозолей и др.). Правила работы со всеми этими приборами излагаются в соответствующих руководствах.

3.61. На этапе начального изучения на поверхности вблизи полости (вне зоны влияния теплового потока из ее хода) и под землей производятся срочные маршрутные замеры основных метеорологических элементов. Точки наблюдений наносятся на план и разрез полости. Их расположение должно подчиняться определенной системе более густая сеть в привходовой части или на пересечении ходов, разреженная – на прямолинейных участках и в глубине полости, в зоне стабилизации температуры и влажности). Замеры следует производить в стандартных условиях (на расстоянии 1–5–10 м, в 5–10–20 см от пола или стенок). Для получения осредненных значений микроклиматических элементов в вертикальных полостях замеры надо производить на расстоянии $\sqrt{R}$ от стен (R – радиус колодца, в метрах), а в горизонтальных полостях – на высоте не менее 0,4 K (K – высота полости) и не более 0,35 δ (δ – ширина полости) от левой или правой стены. Скорость и направление движения воздуха определяются только в естественных сужениях. Газовая съемка производится через равные интервалы по длине или глубине полости со сгущением точек при повышении концентрации CO_2 или появления CH_4 (у разломов, в карманах с углекислым газом и пр.). На всех точках психрометрической и газовой съемки производятся синхронные замеры атмосферного давления.

В результате наблюдений первого этапа определяется схема сезонного движения воздуха полости, намечаются пункты для организации подземных метеопостов, участки, где необходимо провести детальные исследования.

3.62. Полустационарные наблюдения осуществляются в виде длительных (48 ч) серий наблюдений на поверхности и под землей с периодичностью 1–2 мес. Эти наблюдения должны производиться на протяжении не менее 1–2 лет.

На поверхности (вблизи того входа, через который в данный сезон в полость поступает воздух) организуются синхронные наблюдения, сроки которых совпадают со стандартными для метеостанций. Наблюдения на поверхности включают определения температуры, влажности воздуха и атмосферного давления, направления и скорости ветра, облачности (в баллах), регистрацию атмосферных явлений (дождь, снег, град и пр.). В совокупности с данными метеостанций по этим наблюдениям уточняются погодные особенности района пещеры.

Под землей в заранее выбранных участках в привходовой и дальней частях пещеры устанавливаются самописцы-термографы, гигрографы, барографы. Кроме продольных микроклиматических разрезов (по длине ходов), для выяснения крупномасштабных особенностей полей температуры (влажности) и особенностей циркуляции воздуха в характерных участках полости оборудуются микроклиматические поперечники. Замеры производятся по определенной системе (по контуру сечения, по квадратной сетке с шагом 0,5–1–5 м, зависящим от размеров полости и задач исследования и т.д.). Одновременно производятся замеры температуры стенок полости (в шпурах с применением

контактной массы или методом "вмороженного" термометра) и всех водопроявлений.

Для определения параметров скорости термического обмена со стенками в зоне микроклиматических аномалий производятся градиентные наблюдения на высоте 10, 20, 50, 100, 200 см от пола и специальные замеры температуры и влажности воздуха на расстоянии 5–10 мм от стенок. Скорость и направление движения воздуха измеряются как в естественных, так и в искусственно созданных сужениях. В зависимости от особенностей полости и программы работ организуются наблюдения над короткопериодическими изменениями направления и скорости движения воздуха, непериодическими изменениями воздушной циркуляции (открытие и закрытие сифонов), градиентные измерения над поверхностью льда, наблюдения над изменениями положения нулевой изотермы и пр. Производится режимная газовая съемка (ежечасные замеры на протяжении 24 ч), в наиболее интересных местах полости отбираются пробы на полный газовый анализ.

3.63. На основании полустационарных наблюдений определяются объемная масса воздуха пещеры, параметры воздухообмена (расход воздушного потока в разные сезоны, вид движения – ламинарное, турбулентное, коэффициент воздухообмена и пр.), оцениваются потенциальные возможности конденсации и испарения под землей, выясняется газовый режим полости и пр. Эти данные необходимы для интегральной оценки микроклиматических особенностей карстовых полостей разных классов и типов. Без них невозможны квалифицированное проектирование и эксплуатация пещерных туристско-экскурсионных комплексов (Ново-Афонская пещера), разработка мероприятий по сохранению пещерного льда, создание аллергологических и противоастматических лечебниц и гидрогеологических стационаров (Красная пещера).

Зная особенности многолетних изменений микроклимата, можно рассчитать общий и сезонные тепловые балансы отдельных пещер, определить тепловой баланс карстового массива, оценить тенденции изменений подземного микроклимата, влияние его на формирование карстовых полостей, натечных отложений и пещерного льда. Характерной особенностью наблюдений стационарного этапа является переход на дистанционные замеры и существенное повышение их точности. Программа наблюдений разрабатывается применительно к целям исследований и морфологическим особенностям полости.

3.64. Первичная обработка материалов микроклиматических наблюдений производится в соответствии с существующими инструкциями путем введения всех необходимых поправок. Наблюдения над атмосферным давлением на поверхности и под землей приводятся к одной плоскости сравнения по преобразованной формуле Бабине.

$$P_н = P_в \frac{16000\,(1 + 0{,}004t) + h}{16000\,(1 + 0{,}004t) - h}, \qquad (24)$$

где $P_н$ и $P_в$ – атмосферное давление на нижней и верхней точках измерений, мм рт.ст.; h – разность высот между верхней и нижней точками, м; t – среднее арифметическое значение температуры воздуха на верхней и нижней точках, °С.

Обработка материалов микроклиматической съемки производится по психрометрическим таблицам.

3.65. Широкие возможности решения задач практической спелеометеорологии предлагаются с использованием $I - d$ - диаграммы (рис.6). Состояние влажного воздуха на ней определяется любыми двумя его параметрами: температурой по сухому и смоченному термометрам, температурой и относительной влажностью и влагосодержанием и т.д. На $I - d$ - диаграмме приняты обозначения: влагосодержание сухого воздуха d (г/кг), относительная влажность φ (%), теплосодержание сухого воздуха I (ккал/кг). На рис.6 приведен ключ к $I - d$ - диаграмме для давления 760 мм рт.ст. (1013 мб). После введения поправки на давление ею можно пользоваться для всех практических расчетов. Пусть известны две величины: $t = 18°C$ и $t' = 12{,}8°C$ (с поправкой на барометрическое давление $P_б \approx 671{,}6$ мм рт.ст.).

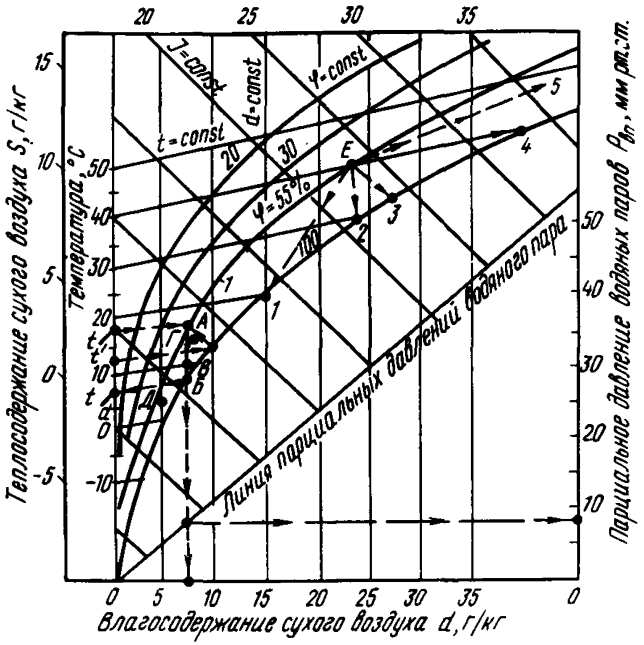


Рис.6. Ключ к I - d - диаграмме влажного воздуха для давления 760 мм рт.ст.

Определяем следующие параметры:

1) относительную влажность воздуха. По изотерме t' смоченного термометра (12,8°С) движемся по кривой насыщения $\varphi = 100\%$, затем по линии, параллельной линиям теплосодержания I – до пересечения с изотермой t сухого термометра в точке A $\varphi = 55\%$;

2) парциальное давление водяных паров $P_{вп}$ и сухой воздух $P_{св}$ мм рт.ст. Из точки A опускаемся по вертикали до линии парциальных давлений водяного пара и по горизонтали движемся к правому обрезу диаграммы, получаем $P_{вп} = 8{,}4$ мм рт.ст. Так как барометрическое давление $P_б = P_{св} + P_{вп}$ легко определить $P_{св}$:

$$P_{св} = 671{,}6 - 8{,}4 = 663{,}2 \text{ мм рт.ст.};$$

3) влагосодержание d, г/кг сухого воздуха. Из точки A опускаемся по вертикали до оси абсцисс, находим 7 г/кг сухого воздуха;

4) абсолютную влажность воздуха a (г/см³) определяем формулой

$$a = 289\,[P_{вп}/(t+273)], \qquad (25)$$

где $P_{вп}$ – – парциальное давление водяных паров, мм рт.ст.; t – температура сухого воздуха, °С.

Подставив соответствующие значения, получаем $a = 8{,}3$ г/см³;

5) Теплосодержание сухого воздуха $I_{св}$, ккал/кг. Из точки A по линии, параллельной $I = const$, поднимаемся до пересечения с осью ординат $I = 8{,}7$ ккал/кг сухого воздуха;

6) Теплосодержание влажного воздуха $I_{вв}$, ккал/кг, рассчитываем по формуле:

$$I_{вв} = 0{,}24\,t + (597 + 0{,}44\,t)\ 0{,}001d. \qquad (26)$$

Произведя расчет, получаем: $I = 8{,}55$ ккал/кг;

7) точку росы t_d, град, для внешнего воздуха, поступающего в карстовую полость. От точки A опускаемся по вертикали до пересечения с линией насыщения, а затем следуем по линии, параллельной изотерме t' (смоченной термометр), до пересечения с осью ординат ($t_d = 8{,}7^{\circ}C$);

8) характеристики воздушной смеси, образовавшейся при смешивании наружного воздуха с $t = 18^{\circ}C$ и $\varphi = 55\%$ (рис.6, точка A) и внутреннего воздуха с $t = 7{,}3^{\circ}C$ и $\varphi = 100\%$ (рис.6, точка $Б$).

Уравнение смешивания графически представляет прямую $АБ$. Если воздух в полости сменяется 1 раз в сутки (коэффициент воздухообмена равен 1), то смесь будет иметь параметры точки B ($АБ/2$). Для точки B $t = 12{,}8^{\circ}C$, $\varphi = 74\%$. Если воздух в полости сменяется n раз, то прямая $АБ$ делится на $n+1$ частей: $B = A + АБ/(n+1)$;

9) определить, какие процессы происходят в пещере с $t = 7{,}3^{\circ}C$ и $\varphi = 100\%$ (точка $Б$) при поступлении в полость внешнего воздуха с $t = 16{,}5^{\circ}C$, $\varphi = 65\%$ (теплый период, точка $Г$) и $t = 5^{\circ}C$, $\varphi = 85\%$ (холодный период, точка $Д$).

При охлаждении и увлажнении внешнего воздуха ($Г \rightarrow Б$) процесс идет по линии $ГБ$. Разница влагосодержаний в точках $Г$ и $Б$ 7,7–6,3 = 1,4 г/кг приведет к конденсации в количестве 1,4 г из каждого килограмма воздуха. При нагреве внешнего воздуха ($Д \rightarrow Б$) произойдет испарение в количестве 6,3 – 4,6 = 1,7 г/кг.

На I–d – диаграмме решаются и другие важные задачи. При этом следует иметь в виду, что нагревание воздуха без изменения его влагосодержания идет по линии $I = const$, процесс увлажнения воздуха без притока тепла по линии $t = const$. При контакте входящего воздуха (рис.6, точка $Е$) с водой возможны различные ситуации. При температуре воды $t_в$, меньшей точки росы (точка 1), происходит охлаждение и сужение воздуха. Охлаждение обусловлено теплообменом воздуха с более холодной водой, а осушение – диффузией паров воды, имеющих большее давление, чем давление насыщенных паров над поверхностью воды (линия $Е - 1$). При $t_в = t_d$ происходит охлаждение воздуха без изменений влагосодержаний (линия $Е - 2$). При $t_в = t'$ происходит его увлажнение с повышением теплосодержания (линия $Е - 4$), при $t_в > t$ происходит нагрев и увлажнение воздуха (линия $Е - 5$).

3.66. На основании всей полученной информации строятся температурный и влажностный разрезы по главному ходу полости и его сечениям, температурные поля и гистограммы, совмещенные графики изменений атмосферного давления на поверхности и под землей, а при наличии данных – графики сезонных изменений температуры и влажности воздуха. Для характеристики распределения температур по длине ходов, а также по площади и объему полости используются термогистрограммы, наиболее плдно описывающие термическое состояние разветвленных пещерных систем и лабиринтов. Наряду с этим рассчитываются корреляционные зависимости между температурой (влажностью) и глубиной (длиной) полости, поверхностной температурой, расходом воздушного потока, скоростью воздушного потока и перепадом давления на расчетном интервале, атмосферным давлением на поверхности и под землей. Анализ этих зависимостей дает дополнительную информацию о строении сложных карстовых полостей. Так, например, из Лабиринтовой пещеры в любой сезон отмечается тяга воздуха, направленная на выход. Это можно объяснить только тем, что она связана с галереями Воронцовской пещеры, расположенными ниже входа (эти галереи поддерживают тягу на выход в холодный период), и с галереями пещеры Кабанья, расположенными зыше входа (они поддерживают тягу на выход в теплый период).

3.67. Заключительный этап обработки материалов – построение математической модели изменений микроклимата карстовой полости, имеющей прогностическое значение.

Обработка материалов микроклиматических исследований позволяет выделить различные типы и подтипы карстовых полостей. Распространенное выделение "теплых" и "холодных", динамических" и "статических" полостей сейчас сменяется более сложными классификационными схемами, в которых ведущую роль играет соотношение температурных и влажностных

полей в нейтральной части карстовых полостей, где сказываются только годовые их колебания. Один из возможных путей разработки микроклиматических классификаций карстовых полостей – это построение диаграмм состояния пещерного микроклимата, отражающих одновременно температурный, влажностный, аэродинамический и газовый факторы.

3.68. Изучение микроклимата карстовых полостей дает очень важную информацию об условиях формирования и существования их отложений, а также о гидрогеологических особенностях карстовых полостей (конденсация влаги, формирование агрессивности подземных вод).

Во всех пещерах и шахтах Сочинского курортного района четко выделяются привходовая "уравнивающая" и дальняя нейтральная зоны. В уравнивающей зоне отмечается четкий сезонный и даже суточный ход температуры. В теплый период (июль–сентябрь) температура воздуха на поверхности обычно выше, чем под землей. На расстоянии 30–50 м от входа она резко (на 2–10°С) снижается. До глубины 120–150 м наблюдается ее плавное понижение (средний градиент –0,8°С/100 м). В холодный период (октябрь–май) температура воздуха на поверхности ниже, чем под землей. В уравнивающей зоне происходит постепенное повышение температуры (средний градиент +1,1°С/100 м). Годовая амплитуда колебаний температуры уменьшается от входа пещеры и в среднем составляет для привходовых частей всех карстовых полостей района 12–16°С (от –2°С до +14°С).

Для характеристики микроклимата карстовых полостей более важно изучение нейтральной зоны, располагающейся глубже 150 м от поверхности или дальше 250–300 м от входа в пещеру. Температура воздуха испытывает здесь лишь годовой ход с амплитудой, не превышающей 0,8°С. Средняя температура нейтральной зоны массивов Алек и Ахцу составляет 7,3±0,3°С, а в Воронцовской пещере 9,2±0,4°С. По соотношению среднегодовой температуры воздуха на поверхности и под землей (соответственно 9,7 > 7,3 и 10,8 > 9,2) все карстовые полости района относятся к типу холодных полостей.

В Воронцовской пещере, имеющей 14 входов на разной высоте, ряд которых имеет огромные размеры (площадь до 200 м²), колебания температуры воздуха в привходовой части имеют очень сложный характер и нуждаются в специальном изучении. Естественное геотермическое поле массивов Алек и Ахцу нарушено влиянием закарстования. Глубина слоя постоянных температур в отдельных блоках зависит от глубины имеющихся здесь карстовых полостей и превышает 300–400 м. Конфигурация его поверхности определяется степенью трещиноватости и закарстованности горных пород.

В теплый период в уравнивающей зоне наблюдается плавное снижение влажности (средний градиент –0,3 мм рт.ст/100 м). В холодный период, напротив, отмечается ее увеличение (с градиентом +0,4 мм рт.ст/100 м). Годовая амплитуда колебаний абсолютной влажности в привходовых частях изменяется в пределах от 4 до 10 мм рт.ст. Средняя абсолютная влажность воздуха в нейтральной зоне шахт массивов Алек и Ахцу составляет 7,7±0,4 мм рт.ст. По соотношению средней влажности теплового периода на поверхности и под землей ($E_{пов} > E_{подз}$) во всех полостях района с апреля по сентябрь может происходить конденсация влаги. Относительная влажность воздуха в уравнивающей зоне испытывает значительные колебания (86–100%), а в нейтральной зоне практически постоянна и равна 100%.

3.69. Карстовые полости района относятся к группе динамических полостей. Они имеют несколько входов на разной высоте (с перепадом высот до 300–400 м) либо связаны с поверхностью недоступными для человека, но хорошо пропускающими воздух и воду трещинами. В этих условиях в теплый период отмечается нисходящая, а в холодный период – восходящая тяга, интенсивность которой определяется соотношением плотностей двух столбов воздуха – на поверхности и под землей.

Непосредственные замеры скорости и расхода воздушного потока, проходящего через карстовую полость, возможны лишь в местных сужениях. Скорость движения воздуха в контрольных сечениях колеблется от 0 до 3 м/с. Однако для характеристики проветриваемости карстовой полости важнее определить расход воздушного потока. Средний расход воздушного потока, проходящего через галереи шахты Географическая, составляет 1,5 м³/с, а

через Воронцовскую пещеру – 10,5 $м^3/с$. На протяжении года эти величины испытывают значительные колебания (для Воронцовской пещеры – от 3,0 $м^3/с$ в апреле и до 15,0 $м^3/с$ в июле), вызванные не только изменениями погодных условий на поверхности, но и колебаниями уровней подземных вод, приводящих к открытию или закрытию карстовых сифонов.

Коэффициент воздухообмена (отношение суточного объема воздуха, проходящего через пещеру, к ее объему) составляет для шахт массива Алек 12,9 раз/сут, а для Воронцовской пещеры – 11 раз/сут. Это определяет условия прохождения конденсационных процессов в трещинно-карстовых коллекторах района.

В уравнивающей зоне воздух в карстовых полостях не отличается по составу от атмосферного. В нейтральной зоне отмечено фоновое содержание CO_2 0,3–0,4% (на порядок больше, чем в атмосферном воздухе). У разломных зон (Глиняный зал в шахте Географическая, Обвальный зал в шахте Заблудших, зал Тишины в Воронцовской пещере и др.) содержание CO_2 в воздухе повышается до 0,5–0,8% и в газовоздушной смеси появляется метан (0,2–0,5%).

Отложения карстовых полостей

3.70. К отложениям карстовых полостей рекомендуется применять методические приемы исследований, разработанные для четвертичных отложений (табл.6).

Физико-химические методы

3.71. Из физических свойств следует определять плотность, объемный вес, пористость, влажность, пределы пластичности глинистых отложений; из водных свойств – величину и влажность набухания и усадки глинистых отложений, максимальную молекулярную влагоемкость, водопроницаемость коэффициенты фильтрации; из механических – свойства сжимаемости песчаных и глинистых пород, их прочностные свойства, сопротивление сдвигу. Для геофизических целей важно знать электрическое сопротивление всех типов пещерных отложений в условиях зоны аэрации и при полном насыщении, скорости распространения продольных упругих волн в глинистом заполнителе и в натечных образованиях.

Литолого-минералогические методы

3.72. В спелеологии используется широкий набор петрографических и минералогических методов исследований.

Изучаются условия залегания обломочных пород: приуроченность к определенным участкам и морфологическим элементам полости, протяженность, мощность; слоистость, сортированность, ориентировка длинных осей. Делаются зарисовки обнажений. Затем определяется величина (линейные размеры по длинной (а) и короткой сторонам (в, с), форма обломков (по их отношениям, табл.7); степень окатанности: остроугольные, угловатые с притертыми гранями, угловато-окатанные, хорошо окатанные, превосходно окатанные; стадия выветривания: сглаживание острых углов при сохранении острых ребер, сглаживание острых ребер, грани покрываются патиной, округление обломков, их поверхность покрывается кальцитовой корочкой, на гранях возникает точечная кавернозность, возникают крупные каверны, отдельные обломки выщелачиваются до рыхлого состояния, обломки полностью выщелачиваются, карбонаты замещаются глинистым материалом, форма обломков сохраняется за счет облекающей кальцитовой корочки. Соотношение длительности и характера выветривания (морозного, химического и механического) можно установить по количеству поверхностей обломков (число граней плюс число углов). Для этих определений достаточно просмотреть 50–100 обломков одного типа. По общепринятой методике (визуально, бинокуляр,

Таблица 6

Группы методов и их наименование	Генетические типы отложений и их группы													
	Остаточные	Обвальные		Водные механические		Водные хемогенные				Гидротермальные	Органогенные	Лед	Антропогенные	Вмещающие
		термогравитационные	прочие	песчано-галечниковые	глинистые	субтеральные	субаквальные	кристаллы	коррелятные					
I. Физико-механические	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
II. Литолого-минералогические														
Петрографические	–	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–	+	+	+
Гранулометрические	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+	+
Минералогические	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
III. Геофизические	–	+	+	–	+	–	–	–	+	–	–	+	–	+
IV. Геохимические														
Химический анализ	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Спектральный анализ	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
V. Геохронологические														
Подсчет слоев	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–
Фторовый, прокаливания	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–

Продолжение табл. 6

Группы методов и их наименование	Генетические типы отложений и их группы													
	Остаточные	Обвальные		Водные механические		Водные хемогенные				Гидротермальные	Органогенные	Лед	Антропогенные	Вмещающие
		термогравитационные	прочие	песчано-галечниковые	глинистые	субтеральные	субаквальные	кристаллы	корелятные					
Пикнометрический	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	–
Космогенных изотопов	–	–	–	–	–	+	+	–	+	–	+	–	+	–
Промежуточных изотопов	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Стабильных изотопов	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–
Термолюминесцентный	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
УГ. Палеотемпературный	–	–	–	–	–	+	+	–	+	–	–	+	–	–
УП. Палеомагнитный	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	+	–
УШ. Палеонтологические	–	+	+	+	+	–	+	–	+	–	+	–	+	+
Макропалеонтологические	–	+	+	+	+	–	+	–	+	–	+	–	+	+
Микропалеонтологические	+	+	–	–	+	–	+	–	+	–	–	+	+	+
Палинологический	+	–	–	+	+	–	+	–	+	–	+	+	–	+
IX. Археологический	–	+	–	+	+	–	–	–	+	–	+	–	+	–

Таблица 7

Класс форм	Отношение		Наименование формы
	в/а	с/в	
I	> 2/3	< 2/3	Сплющенные (диски, таблетки)
II	> 2/3	> 2/2	Равностные (изотермические, сферические)
III	< 2/3	< 2/3	Трехосные (пластинчатые)
IУ	< 2/3	> 2/3	Вытянутые (брусковидные, стержневые)

микроскоп) изучается петрографический состав обломков (особое внимание уделяется определению их аллохтонности или автохтонности), определяется степень и характер их цементации.

3.73. Для разделения песчаных и глинистых отложений применяется обычный гранулометрический (ситовый) анализ. Рекомендуется пользоваться стандартным набором сит с отверстиями 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Рассев образцов продолжается 15 мин (при использовании ротапа – 10 мин). Фракции менее 0,1 мм изучаются методами Сабанина, пипеточным, аэрометрическим и центрифугирования. Для анализа берется исходная проба весом от 2 до 50 кг. В спелеологии часто объем пробы ограничен емкостью гидродинамических ловушек (ванночек), в которых накапливались рыхлые отложения. Результаты анализа обрабатываются с помощью треугольной диаграммы, гистограмм и кумулятивных кривых. С них снимаются основные расчетные показатели – действующие диаметры, используемые в гидрогеологических целях : d_{25}, d_{50} и d_{75} (квартильные коэффициенты). В последнее время вместо d_{50} (медианного диаметра) рекомендуется использовать средневзвешенный диаметр d ($d = \Sigma d_i P_i / 100$, где d_i – средний размер каждой фракции). Показателем сортированности материала обычно служит коэффициент сортировки $S_0 = \sqrt{d_{25} / d_{75}}$. Чем ближе S_0 к 1, тем лучше сортирован материал. При интерпретациях данных гранулометрического состава следует по возможности анализировать не отдельные образцы, а их серии (из отложений генетического типа, из полостей одного происхождения и пр.), а также пользоваться дробной гранулометрической шкалой.

3.74. Песчаные отложения изучаются общепринятыми методами. Образец отмывается от глинистой и алевритистой примесей, для максимальной сравнимости данных набирается руководящая размерная фракция (лучше всего использовать фракцию 0,25–0,1 мм, наиболее богатую в видовом отношении и наименее зависящую от изменчивости среды осадконакопления). Навески 10–20 г из фракции 0,25–0,1 мм обычно достаточно для полного количественного минералогического анализа. Производится фракционирование по плотности (в бромоформе или тетрабромэтане), по магнитным свойствам, определяется весовой и процентный выход отдельных фракций (от первоначального веса пробы). Диагностика минералов осуществляется с использованием бинокулярного и поляризационного микроскопов. Для количественной оценки минерального состава образца, содержащего 10–20 видов, просматривается 200–300 зерен.

Под бинокулярным микроскопом определяются минералы по внешним признакам, изучаются типоморфные особенности отдельных видов и разновидностей, проводятся подсчеты. С помощью поляризационного микроскопа проводятся микроскопические исследования, определяются оптические свойства минералов, уточняется правильность их определения. При необходимости для целей диагностики используются микрохимические реакции, применяются рентгеновские, люминесцентные более точные методы.

На заключительном этапе проводится цифровая обработка данных, построение графиков (для карстовых полостей лучше всего строить графики распре-

деления минералов вниз по потоку и снизу вверх по разрезу рыхлых отложений), палеогеографическая расшифровка данных. Большое значение имеет подсчет коэффициентов устойчивости K_y (отношение суммы устойчивых в химическом и механическом отношении минералов к неустойчивым, отдельно для легкой и тяжелой фракций) и гравитации $K_г$ (отношение суммы содержания зерен с плотностью более 3,4 г/см³ к зернам с меньшей плотностью).

Отдельно изучаются аутигенные (новообразованные) минералы (псевдоморфозы, налеты, наросты, пленки). Очень перспективен для изучения условий накопления ритмичных толщ, водных отложений микроморфологический анализ рыхлых пород в шлифах с ненарушенной структурой.

3.75. При изучении глинистых отложений применяется комплекс взаимодополняющих методов. Исследуется их химический состав, определяется емкость катионного обмена (адсорбция красителя метиленового голубого и др.), производится рентгеновский дифрактометрический анализ при различной физико-химической обработке препаратов, термические исследования (выявление эндо- и экзотермических эффектов), снимаются инфракрасные спектры, изучается морфология глинистых минералов под электронным микроскопом (при увеличении в 10 000 раз и более). Наиболее перспективны комплексные исследования, позволяющие вскрыть особенности изменений состава глинистых отложений карстовых водоносных систем от области питания до области разгрузки.

3.76. Минеральные образования представлены различными водными хемогенными формами, кристаллами автохтонных минералов, гидротермальными минералами.

При изучении минералов пещер следует применять комплекс методов, включающих химический и спектральный анализы; минералогические (изучение под бинокуляром пришлифовок, под микроскопом – ориентированных шлифов, в иммерсии – отдельных минеральных образований и пр.), электронно-микроскопические (суспензии, реплики – использование стереоскопа), рентгеновские и термические (определение фазового состава натеков), люминесцентные (определение строения натеков, наличия в них микропримесей и решение проблем спелеохронологии) и другие методы. По особой программе организуются исследования гидротермальных отложений пещер. Следует предусмотреть изучение типоморфных минералов, их онтогении, морфологии, термобарометрических особенностей (изучение газово-жидких включений методами декрепитации и гомогенизации; изучение полиморфизма и политипии минералов), геохимических особенностей, состав элементов – примесей вмещающих пород и минерала, изотопный состав по водороду-дейтерию, сере и пр.).

3.77. Описание ледяных образований надо производить по следующей схеме: местонахождение, размеры (площадь, диаметр, мощность), форма (описать, зарисовать, сфотографировать), характер прикрепления к субстрату или к иной форме льда, цвет, текстура (наличие слоев) различной структуры или илистых прослоев между слоями, структура (при возможности производится зарисовка зернистости методом растушевки), наличие газовых включений, твердость, микрорельеф поверхности (оплавление, корродированность, наросты мелких кристаллов льда, наличие гипсовой или кальцитовой муки и пр.). При необходимости отдельно определяются физические свойства льда (температура, объемный вес, пористость, скорость распространения продольных сейсмических волн и пр.), наличие притока инфильтрационной воды из трещин, подсчитывается число годичных слоев в естественных разрезах и шурфах. Пробы всех различных разновидностей льда отбираются в банки с притертыми пробками или полиэтиленовые мешки. При необходимости детально изучить структуру льда отбираются специальные пробы, которые хранятся при температуре ниже нуля. Пробы льда передаются на химический, спектральный, споро-пыльцевой, бактериологический и другие анализы.

Геофизические методы

3.78. Физической основой их применения являются существенные различия в электрических сопротивлениях (5–15–20–60 Ом • м – вода в гипсовых

и известковых пещерах, 10–100 Ом · м – водные механические отложения, 200–300 Ом · м – карбонатные натеки; 10^3–10^5 Ом · м – лед) и в скорости продольных сейсмических волн (700–1000 м/с – водные механические отложения; 1300 м/с – вода; 1500–1800 м/с – карбонатные натеки; 3500 – 4500 м/с – лед). Это определяет перспективы использования подземных модификаций геоэлектрических исследований, в особенности микросейсмических исследований для определения мощности и характера разреза рыхлых отложений на дне крупных карстовых полостей.

Геохимические методы

3.79. Применяются для реконструкции палеогеографических условий формирования отложений карстовых полостей. Рекомендуется следующая последовательность работ. На этапе полевых исследований особое внимание уделяется изучению морфологии и цвета горизонтов. Цвет – важнейший индикатор химического состава отложений и палеогеографических условий их образования. Так, желто-бурые, бурые, красно-бурые, красные, малиновые окраски отложений указывают на окислительную, а сизые, голубые, зеленоватые, темно-серые тона – на восстановительную палеогеографическую обстановку. Особое внимание нужно обращать на различные новообразования (пятна, примазки, корки, пленки, конкреции) соединений железа, марганца, карбонатов, гипса, кремнезема и прочих, на их форму, обилие, приуроченность к отдельным ходам пещер, приразломным зонам или горизонтам. Отбираются образцы всех изучаемых образований в количестве, достаточном для производства различных анализов.

Следует производить общий химический анализ, полуколичественный спектральный анализ, в отдельных случаях – анализ водной и уксусно-кислой вытяжек. Рациональную схему химического анализа можно наметить только исходя из конкретных условий и задач исследований. Например, для получения среднего химического состава сталактитов надо анализировать валовую пробу, включающую несколько образцов из одной пещеры. Для изучения процессов подземного выветривания приходится прибегать к послойному анализу натеков, так как в их корродированных частях происходит концентрация ряда малых элементов. При палеогеографической интерпретации геохимических показателей глинистых отложений необходимо использовать данные по одним фракциям (менее 0,001 мм), валовой состав которых хорошо фиксирует общую климатическую обстановку и меньше зависит от местных фациальных особенностей.

При интерпретации данных химических анализов строятся геохимические ряды элементов, определяется коэффициент водной миграции

$$K_x = (m_x \cdot 100)/(a\, n_x), \qquad (27)$$

где m_x – содержание элемента X в воде, г/л; n_x – его среднее содержание во вмещающих породах; a – сумма минеральных веществ, содержащихся в воде, г/л; отношения CaO/MgO, Fe_2O_3/FeO, SiO_2/Al_2O_3, а также коэффициенты накопления малых элементов K_1 (отношение среднего содержания элемента к кларку в литосфере) и K_2 (отношение среднего содержания элемента к кларку в карбонатах литосферы). К наиболее интересным выводам приводит сопряженный геохимический анализ горных пород, кор их выветривания, поверхностных и подземных вод и отложений карстовых полостей. Выпадение одного из этих звеньев геохимических исследований может привести к существенным ошибкам в трактовке палеогеографических условий.

Геохронологические методы

3.80. Эти методы позволяют установить относительный или абсолютный возраст осадков. Метод подсчета годичных слоев разработан применительно к ленточным глинам. Для относительной датировки и установления ритмич-

ности спелеогенеза необходимо изучение разрезов карбонатных плотин гуров речного типа. Непрерывный разрез таких плотин охватывает период до 10 тыс. лет. Имеется возможность сопоставления разрезов различных плотин в одной или в разных пещерах. При нахождении реперных точек (включения угля, ископаемых костей и пр.) можно перейти к абсолютной датировке разреза. Так как изучение разрезов плотин на месте весьма сложно, рекомендуется масштабная макрофотосъемка. Дальнейшая обработка разреза производится в камеральных условиях.

3.81. Фторовый метод основан на увеличении содержания фтора в костях ископаемых животных с их геологическим возрастом. Необходимо использовать только трубчатые кости и учитывать концентрацию нулевого фтора в фосфате костей. Определяется содержание фтора и коэффициент фтористости.

3.82. Метод прокаливания состоит в определении соотношения между количеством основного вещества пористой ткани костей (коллагена) и количеством минеральных веществ, входящих в состав кости и принесенных в нее извне в процессе фоссилизации. Прокаливание производится на термовесовой установке в диапазоне температур 0–800°С с регистрацией потерь веса через 100°С. Потеря веса (в %) или показатель прокаливания (вес пробы после прокаливания, умноженный на 100, и деленный на вес потери при прокаливании) довольно хорошо характеризует геологический возраст образца (табл.8).

3.83. При пикнометрическом методе кусочек костной ткани весом около 1 г (желательно брать обломки трубчатых костей) дробится, пыль отсеивается, а костной крупой (0,5–0,8 г) заполняется до трети объема 2-миллиметровый пикнометр. После ряда взвешиваний на аналитических весах с точностью до 1 мг определяется удельная масса кости, г/см^3. Ее возраст приближенно можно определить по табл.8.

3.84. Для определения возраста карбонатных натеков может быть применен тритиевый метод (период полураспада 12,26 лет). При анализе образцов с возрастом более 20 лет необходимо изотопное обогащение.

3.85. В геохронологии новейших отложений используются методы промежуточных изотопов. Наиболее выгодны для датировки плотные, лишенные примесей обломочного материала сталагмиты, коры. Сталактиты, сохранившие центральный питающий канал, часто дают ошибочные данные вследствие вторичного растворения. В разных случаях можно применять следующие методы: Ra^{226}/U^{234} – 300–7000 лет; Pa^{231}/Th^{230} – 2000 – 200 000 лет; Th^{230}/U^{234} – 2000 – 35 000 лет; U^{234}/U^{238} – 5000 – 1 500 000 лет.

3.86. Для использования в спелеологии наиболее перспективен калий-аргоновый метод (кости животных, известняки). Изотоп K^{41} обладает естественной радиоактивностью (период полураспада $1{,}3 \cdot 10^6$ лет) распадаясь на Ca^{40} и Ar^{40}. Так как радиогенный Ca^{40} невозможно отделить от обычного кальция, при датировании используется только аргон. Активационный аргоновый метод позволяет снизить нижнюю границу определяемого возраста до 50 000 – 100 000 лет.

3.87. Термолюминесцентный метод, пригоден для датирования керамических изделий древнего человека, аллювиальных отложений, а также для изучения источников сноса мономинеральных фракций, восстановления физико-химических условий бассейна, где формировались отложения, и пр. Перспективно определение возраста карбонатных натеков в диапазоне от нескольких тысяч до миллиона лет.

Палеотемпературные методы

3.88. Изотопные методы можно использовать для реконструкции палеотемпературных условий образования отложений. Наиболее перспективно одновременное изучение соотношений O^{18}/O^{16}, C^{12}/C^{13}, Ca^{48}/Ca^{40} в карбонатных натеках и известковых туфах (установление температуры их образования), а также изучение соотношений O^{18}/O^{16} в пещерных льдах.

Таблица 8

Период	Эпоха	Век	F, %	$K_ф$	Потеря веса	Плотность, г/см³
Антропоген	Голоцен	Голоцен	–	–	Более 25	2,00–2,10
		Поздний плейстоцен	–	–	25–20	2,10–2,40
	Плейстоцен	Средний плейстоцен	0,60–0,39	0,336–0,276	20–8	2,40–2,60
		Ранний плейстоцен	0,64–0,60	0,344–0,366	8–4	2,60–2,75
	Плиоцен	Поздний плиоцен	0,67–0,59	0,360–0,335	4–3	2,75–2,85
Неоген	–	Средний плиоцен	1,01–0,78	0,451–0,388	2,9–2,8	2,85–3,00

Палеомагнитный метод

3.89. Намагничивание может возникать вследствие охлаждения породы в постоянном магнитном поле, при химических изменениях вещества (например, при переходе Fe_2O_3 и Fe_3O_4), при выравнивании магнитных моментов частиц вдоль магнитного поля в процессе их охлаждения, при наложении переменных механических напряжений. Возможно использование этого метода при изучении пещерных отложений.

Палеонтологические методы

3.90. Они широко применяются при изучении новейших отложений и подразделяются на несколько групп.

Макропалеонтологические методы наиболее применимы в спелеологии при изучении беспозвоночных и растительных остатков. Костные остатки чаще всего встречаются в антропогенных, органогенных, водных механических и обвальных отложениях. Остатки беспозвоночных представлены в основном раковинами пресноводных и наземных моллюсков, занесенными с поверхности. Встречаются чаще всего в водных механических отложениях. Растительные остатки представлены древесиной и плодами (встречаются в водных механических отложениях), древесным углем (обычен в антропогенных отложениях), отпечатками листьев.

При палинологическом методе споры и пыльца могут быть обнаружены в водных механических, антропогенных, термогравитационных, остаточных отложениях и во льду. Основные правила отбора проб – их чистота, полнота охвата всего разреза, большая частота отбора (с интервалом: для галечников и крупнозернистых песков 1 м; для среднезернистых, мелкозернистых песков и глин 10–20 см, для органогенных отложений – послойно 2–10 см). Вес образцов 100–300 г.

Микропалеонтологический метод изучения ископаемых микроорганизмов, (фораминиферы, остракоды, диатомовые водоросли, кокколиты и пр.), чаще всего встречающихся в водных механических отложениях, в осаточных отложениях и во льду, может уточнить возраст вмещающих пород и вероятную область питания карстовой водоносной системы. Для этого вида анализа отбирается 200–300 г рыхлой породы.

3.91. Археологические методы применяются для датировки антропогенных обвальных, в отдельных случаях – водных хемогенных отложений.

4. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬНОМ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИИ

4.1. Наиболее важными проблемами, направленными на повышение эффективности рационального использования и охраны геологической среды как естественно-социального понятия, следует считать: изучение и количественную оценку процессов и закономерностей формирования различных генетических типов грунтов и подземных вод как основных компонентов геологической среды, развитие теоретических и методических основ временных и пространственных качественных и количественных инженерно-геологических и гидрогеологических прогнозов, создание научных основ управления гидрогеологическими и инженерно-геологическими процессами при различных видах освоения геологической среды и обоснование схем ее рационального использования и охраны.

4.2. Для успешного разрешения этих проблем требуется обеспечение необходимым по количеству и качеству фактическим материалом. В ходе проведения инженерно-геологических и карстолого-спелеологических изысканий требуется обеспечение исследований достоверным фактическим материалом

режимных инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений. Это вызывает необходимость совершенствования режимных исследований, при осуществлении которого важно соблюдать следующие принципы: комплексность, целенаправленность, достоверность наблюдений.

В природных условиях все основные компоненты геологической среды – горные породы (грунты), подземные воды (зоны аэрации и зоны полного насыщения), природные газы, живые организмы (микроорганизмы) – находятся во взаимодействии. Их взаимное влияние обусловливает необходимость комплексных исследований, наблюдений параметров всех этих компонентов при проведении работ, направленных на повышение эффективности использования и охраны геологической среды в целом, как естественно-социального образования.

Другое принципиальное положение – целенаправленность исследований – вызывается необходимостью оптимального учета ведущих на конкретных территориях исследований компонентов геологической среды, ее основных частей – инженерно-геологических и гидрогеологических условий, потребностью в необходимых для проектирования инженерных сооружений показателей прочностных, деформационных, физико-химических, водно-физических и других свойств грунтов, необходимостью решения конкретных практических задач защиты геологической среды от неблагоприятного воздействия природных и техногенных процессов.

Достоверность режимных исследований, их основы – режимных наблюдений – обеспечивается не только методически правильными и добросовестно выполняемыми наблюдениями на конкретном локальном объекте, но главным образом – проведением натурных работ на специальных естественных полигонах и на крупных территориально-производственных объектах с использованием комплексных постоянно действующих моделей взаимодействия компонентов геологической среды. Это даст возможность максимально обоснованного прогноза развития геологической среды как многокомпонентной системы.

4.3. Широкая постановка подобных работ требует проведения режимных наблюдений на современном техническом уровне, для чего необходима разработка и повсеместное внедрение в практику исследований совершенной автоматизированной аппаратуры, обеспечивающей непрерывную документацию всех параметров режима инженерно-геологических и гидрогеологических процессов в ходе проведения специальных гидрометрических, опытно-фильтрационных и других полевых и экспериментальных работ и в период длительной эксплуатации зданий и сооружений.

4.4. Учитывая практически повсеместную нарушенность режима гидрогеологических и инженерно-геологических условий на интенсивно осваиваемых территориях, особенно на территориях городских агломераций, а также многообразие и специфику геологической среды и ее социально-экономического использования, следует создать на ключевых по литомониторингу территориях комплексные инженерно-геологические и гидрогеологические заповедники для сохранения естественного режима, сопоставлений и оценок искусственных его изменений.

4.5. Повышение эффективности рационального использования и охраны геологической среды в современных условиях освоения территорий капитальным строительством может быть достигнуто за счет интенсификации использования и охраны геологической среды. Учет этого верного в общем исходного положения в Сочинском курортном районе имеет свои особенности ввиду предельной рекреационной нагрузки на его территорию, отмечаемой даже в настоящее время.

Расширение капитального строительства в районах традиционного строительного освоения Сочинского курорта отрицательно повлияет и уже оказывает негативное влияние на состояние окружающей геологической среды (загрязнение промстоками, стоками с удобряемых ядохимикатами полей, разгрузка минеральных вод, нарушение режима пресных и минеральных вод вследствие интенсивной их эксплуатации, проведение искусственных мероприятий в областях питания, включая рубки леса, вскрышные работы, отвалы карьеров строительных материалов и вследствие их загрязнения отходами

животноводческих ферм, неканализованных, неблагоустроенных населенных пунктов, подтопление и затопление территорий, усиление абразии и эрозии, нарушение устойчивости оползневых склонов и закарстовых территорий при инженерной подготовке, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений).

Таким образом, интенсификация курортного строительства на побережье в пределах агломерации Большого Сочи может привести к деградации геологической среды, рекреационных ресурсов и поэтому диктует необходимость принятия оптимальных решений дальнейшего развития Сочинского курортного района с учетом охраны геологической среды.

4.6. Сложное взаимное влияние геологической среды и строительства объективно определяется инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями территории и отдельных ее участков и их изменениями на всех стадиях освоения – от изысканий до эксплуатационного ухода. При этом специфика Большого Сочи состоит в том, что гидроминеральные ресурсы как составная часть геологической среды, включающие ресурсы сульфидных, йодобромных, углекислых вод, представляют собой не только основу дальнейшего строительного освоения, но и непременное условие самого существования курорта бальнеологического профиля.

Именно инженерно-геологические и гидрогеологические условия – наличие и пространственное размещение грунтов различных генетических типов, которые можно рассматривать, как основание, вместилище и материал зданий и сооружений, экзогенных и эндогенных геологических процессов, различных генетических типов подземных вод, используемых в водоснабжении разного назначения, в бальнеотерапии, гидрогеологических процессов в условиях естественного и наруженного режима подземных вод во взаимодействии с поверхностными водами – определяют степень пригодности участка для различных видов его строительного освоения, с приоритетом курортного строительства.

4.7. Стратегическая тенденция строительного освоения Сочинского курортного района должна состоять в поэтапном эшелонировании от моря в глубь континента. Такая стратегия кардинально нормализует рекреационные нагрузки курортного района, оптимизирует условия профилактического оздоровительного процесса – основной социально-экономической функции курорта. И в то же время эта стратегия приведет к необходимости освоения средне- и высокогорных неудобных в настоящее время для строительства территорий.

Эти территории являются неудобными по двум причинам – природной (пораженность оползнями, обвалами, карстовыми, суффозионными явлениями, селеопасные, лавиноопасные участки) и экономической (отсутствие или слабое развитие коммуникаций: дорог с твердым покрытием, линий электропередач, водопровода, канализации, линий связи, связывающих их с освоенной прибрежной территорией).

Начинать освоение надо со строительства дорог, затем – прокладывать другие коммуникации.

Тогда останутся только естественные трудности освоения горных территорий – значительные крутизна склонов, густота и глубина расчленения рельефа, подверженность пород терригенных формаций оползневому и другим склоновым процессам, а карбонатных – карстовому процессу, различные глубины залегания и агрессивность подземных вод по отношению к строительным материалам, подтопление осваиваемых территорий, влияние землетрясений.

4.8. На базе комплексного детального изучения и тщательного учета инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории и их возможного изменения при освоении следует дать обоснованные рекомендации по характеру дальнейшего перспективного строительного освоения Большого Сочи и тем мероприятиям, которые нейтрализовали бы или свели до минимума неблагоприятное воздействие гидрогеологических и инженерно-геологических процессов, усиливающееся в условиях техногенеза, – защитным противоабразионным, противоэрозионным, антисейсмическим, противофильтрационным, противооползневым, противокарстовым мероприятиям.

Поэтому требуются комплексные прогнозные оценки изменения геологической среды или на первом этапе ее ведущих компонентов – инженерно-

геологических процессов, состава и свойств грунтов различных генетических типов, гидрогеологических и гидрологических условий во взаимодействии – в результате инженерно-хозяйственной деятельности.

Для осуществления таких оценок потребуются комплексные крупномасштабные специальные инженерно-геологические съемки территории первоочередного и перспективного курортного освоения и организация стационаров с комплексом режимных гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений, включающих изучение массо- и влагопереноса в насыщенной зоне и в зоне аэрации, изучение воздействия инженерных сооружений на горные породы и подземные воды, воздействия изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий на сооружения и на почву.

Если стационары разместить на ключевых участках, то получаемую на них информацию можно распространять на характеризуемые ими территории, определенные на основе типологического районирования. Стационары должны быть специализированными – для режимных инженерно-геологических наблюдений на оползневых склонах, закарстованных площадях конкретных ключевых участков прибрежной и горной территорий Сочинского курортного района. В таком случае будет обеспечен максимальный учет локальных особенностей изучаемых участков и параметров развитых на них процессов в условиях значительной и прихотливой их изменчивости в пространстве в условиях Большого Сочи.

4.9. Для успешного решения этих задач необходимо усовершенствовать организацию и методику инженерно-геологических и гидрогеологических режимных наблюдений с учетом специфики общих природных условий и комплекса режимообразующих факторов, а также задач социально-экономического развития агломерации. Прежде всего следует режимную наблюдательную сеть привести в соответствие с задачами изучения режима компонентов геологической среды.

Крайне необходимо на современном научно-техническом уровне провести сейсмическое микрорайонирование всей территории агломерации, провести исследования по подтоплению территорий современного и перспективного строительного освоения, провести специальные исследования неоднородности и сложности инженерно-геологических условий города.

4.10. Результаты этих работ позволят составить комплекс прогнозных карт возможных изменений инженерно-геологических условий при строительном освоении территории и эксплуатации инженерных сооружений, возможных изменений гидрогеологических условий при строительном освоении и интенсификации водоснабжения агломераций в условиях искусственного восполнения подземных вод, прогнозную социально-экономическую карту строительного освоения и охраны геологической среды района.

На основе таких карт можно решить ряд насущных практических задач. Появится возможность составить земельный (грунтовый) и водный баланс всей агломерации и определить компромиссную схему земле- и водопользования с учетом необходимости преодоления объективного конфликтного положения в системе народного хозяйства побережья (сельское хозяйство – курортное строительство – транспортное строительство – промышленность).

Назрела необходимость составления новой генеральной схемы противооползневых, берегоукрепительных (противоабразионных и противоэрозионных), противофильтрационных мероприятий, с учетом опыта существующей схемы и достижений в изучении геологических процессов и в технике исполнения работ.

С учетом эксплуатационной доразведки подземных вод, искусственного их восполнения, необходимости внедрения новых, не традиционных для города типов водозаборных сооружений, оптимально соответствующих гидрогеологическим условиям конкретных участков (горизонтальные дрены, лучевые, комбинированные водозаборы) следует составить новую генеральную схему водоснабжения района.

Требуется разработка новой схемы строительного освоения территории с точки зрения охраны и рационального использования геологической среды, обязательно учитывающей поэтапное глубокое эшелонирование инженерно-строительных зон от моря в глубь континента и оптимизацию инженерной подготовки территорий строительного освоения.

4.11. Результаты режимных инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений на стационарах должны дать надежную основу прогнозов и проектирования защитных мероприятий.

Для противооползневой защиты и повышения устойчивости оползневых склонов Сочинского курортного района хорошо зарекомендовали себя и могут быть рекомендованы поверхностный водоотвод, дренажные сооружения, удерживающие сооружения, перераспределение грунтовых масс, агролесомелиоративные мероприятия, морские берегоукрепительные мероприятия, противоэрозионные мероприятия, специальные противооползневые сооружения, профилактика оползневых смещений, эксплуатационный надзор и уход за инженерными сооружениями и противооползневыми мероприятиями, устройствами и сооружениями.

Противокарстовая комплексная защита Сочинского курортного района должна осуществляться по следующим основным направлениям: обеспечение надежности инженерно-геологических изысканий и достоверности их результатов, особенно прочностных характеристик карстующихся пород; максимальный учет инженерно-геологических условий участков застройки; ограничение до минимума вскрышных земляных работ; ограничение плотности застройки в комплексе планировочных мероприятий и их строительного выполнения; применение конструктивных мер противокарстовой защиты зданий и сооружений; внедрение противокарстовых эксплуатационных мероприятий для возводимых объектов с ограничением водоемкости и надежным водоотводом; упорядочение поверхностного стока и дренаж подземных вод, устройство водонепроницаемых покрытий, облицовка обнаженных участков; искусственное закрепление или мелиорация грунтов; применение агролесомелиорации; эксплуатационный надзор и уход за противокарстовыми сооружениями.

4.12. При интенсификации строительного освоения территории Сочинского курортного района очень важно в аспекте повышения эффективности использования и охраны геологической среды не допускать деградации курортных ресурсов – гидроминеральных, земельных, рекреационных и др.

4.13. Вопросы рационального использования и охраны природной среды закарстованной территории весьма актуальны, поскольку санитарная охрана областей питания подземных вод региона является важной и неотложной задачей и предъявляет особые требования в связи с несовпадением подземных и поверхностных водосборов, наличием участков концентрированного инфлюационного поглощения поверхностных водотоков, высокими скоростями движения подземных вод в трещинно-карстовых коллекторах.

Результаты карстолого-спелеологических исследований и изысканий позволяют дифференцировать территорию региона по степени необходимости санитарной охраны (рис.7).

К первой зоне санитарной охраны следует отнести участки водозаборов, а также водосборы внутренней области питания (массивы Ахун, Ахштырь) в пределах развития карста открытого, задернованного и покрытого типов. Время добегания карстовых вод этой зоны до пунктов естественной (источники) или искусственной (буровые скважины) разгрузки составляет 0,5–2 сут.

Ко второй санитарной зоне надо отнести водосборы внешней области питания в пределах развития карста открытого, задернованного и покрытого типов, а также водосборы, сложенные некарстующими породами, но имеющие сток в контуры развития известняков внутренней области питания. Время добегания карстовых вод этой зоны до пунктов разгрузки составляет 5–15 сут.

К третьей зоне санитарной охраны следует отнести водосборы, сложенные некарстующимися породами и имеющие сток за пределы развития карстующихся пород.

4.14. Использование карстовых полостей в народном хозяйстве имеет свою специфику. В качестве объекта использования по отношению к субъекту карстовые полости часто бывают удалены в пространстве, иногда трудно доступны и в зависимости от этого, а также от их размеров не всегда могут быть использованы с той степенью комплексности, которая присуща искусственно созданному подземному пространству, проект которого уже предусматривает требуемое его функциональное назначение.

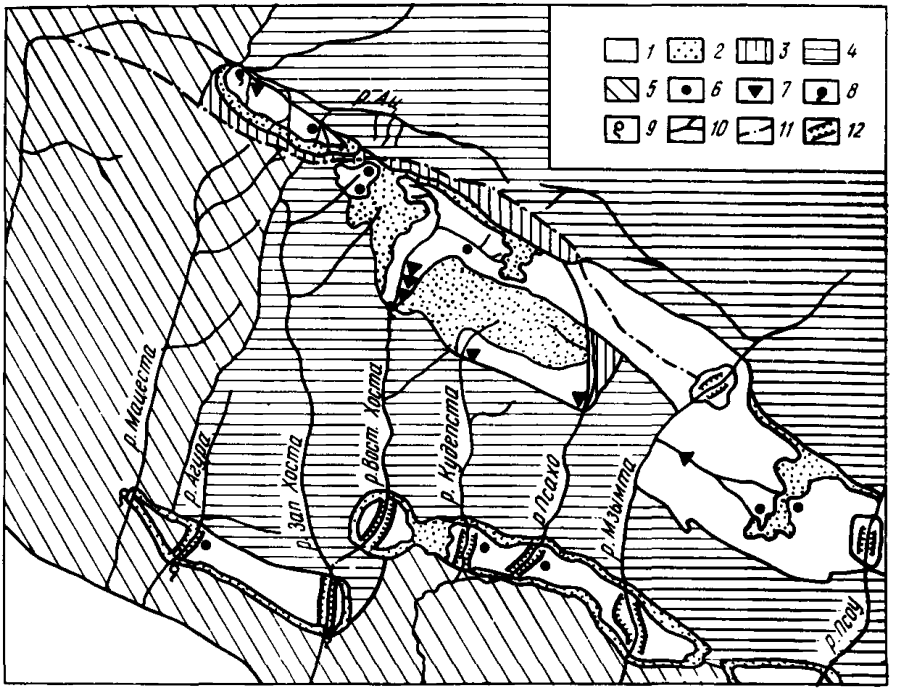


Рис.7. Карстолого-гидрогеологическая схема района Большого Сочи
1 – открытый и задернованный карст с инфлюационно-инфильтрационным поглощением; 2 – покрытый карст с инфлюационным поглощением; 3 – водосборы, сложенные некарстующимися породами, со стоком в контур развития карстующихся пород; 4 – то же, со стоком в долины транзитных рек, пересекающих карстующиеся породы; 5 – то же, со стоком, не попадающим на закарстованные породы; 6 – пещеры и шахты-поноры, 7 – пещеры-источники; 8 – карстовые источники пресные; 9 – то же, минеральные; 10 – участки рек с поглощением руслового стока; 11 – поверхностные водоразделы; 12 – каньоны

В то же время естественные карстовые полости имеют свои преимущества перед искусственными: они не требуют затрат труда на их сооружение, а при строительном освоении требуют меньшего объема проходческих работ, в них поддерживается постоянная температура, часто они обеспечены качественной хозяйственно-питьевой водой. Карстовые полости с успехом частично используются и в перспективе могут быть использованы в более широких масштабах в следующих направлениях: в профилактике и лечении заболеваний (пещеры Солкотская, Цхраджварская, Нижнеквилиторская, Сатаплийская, Цхалтубская, Иверийская), как объекты туризма и спорта (пещеры Новоафонская, Сатаплийская, Абрскилова, Цхалтубская, Цуцхватская, Тобская, Цахская, Ахалшекская, Гумская, Солкотская, Воронцовская), в качестве хранилищ продовольствия, источников водоснабжения, укрытий и убежищ.

4.15. Изучение и использование подземного пространства – одно из проявлений современной тенденции освоения земных глубин.

В связи с этим появилась насущная необходимость разработки теоретических основ и методики комплексных инженерно-геологических изысканий для различных видов подземного строительства.

Целесообразно проведение дальнейших исследовательских работ в трех основных направлениях: поисковом, полустационарном и теоретическом.

Поисковое направление предусматривает сбор и анализ материалов в первую очередь по отдельным карстовым районам, слабо изученным в спелеологическом отношении (в Сочинском курортном районе массивы Фишт, Оштен, Лагонаки, Гагрский и др.), а затем по остальным карстовым областям и районам.

Полустационные микроклиматические, гидрогеологические и инженерно-геологические работы по специальной типовой программе должны проводиться в карстовых полостях ежемесячно по 7–10 дней (двенадцать циклов в год) на протяжении 2 лет. На поверхности организуются еженедельные наблюдения за расходом и минерализацией карстовых источников.

Цель теоретических работ – получение интегральных характеристик тех компонентов подземного ландшафта, которые играют наиболее значительную роль в оценке возможности использования карстовых полостей в народном хозяйстве.

4.16. Практическими задачами изучения карстовых процессов на территории региона являются количественная оценка устойчивости территории и прогноз ее изменения вне и по взаимодействии с инженерными сооружениями; инженерно-геологическое обоснование возможности строительства объектов; рекомендации по размещению и выбору типов сооружений, а также методов ведения строительных работ, проектов укрепительных и защитных мероприятий для обеспечения устойчивости сооружений и для предотвращения опасных последствий; разработка мер и технических средств охраны окружающей геологической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамов С.П., Залесский Ф.В., Ларина Т.А., Спиридонов А.С., Старицын А.П.** – Инженерные изыскания в строительстве. – М.: Стройиздат, 1982.

2. **Дублянский В.Н., Илюхин В.В.** Путешествия под землей. – М.: Физкультура и спорт, 1981.

3. **Дублянский В.Н., Илюхин В.В.** Крупнейшие карстовые пещеры и шахты СССР. – М.: Наука, 1982.

4. **Дублянский В.Н., Клименко В.И., Прокофьев С.С.** Изучение карстовых полостей и подземных вод карстовых массивов Западного Кавказа. – Сочи: ПНИИИС, 1980.

5. **Дублянский В.Н., Маматкулов М.М., Иванов Б.Н. и др.** Проблемы изучения карстовых полостей гор южных областей СССР. – Ташкент: ФАН, 1983.

6. **Клименко В.И.** Особенности режимных инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений для курортного строительства в Большом Сочи с целью повышения эффективности рационального использования и охраны геологической среды. – В кн.: Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. – М.: Наука, 1983.

7. **Клименко В.И.** Проблемы инженерно-геологического изучения карстовых территорий Черноморского побережья Кавказа для целей строительства и охраны природной среды. – В кн.: Проблемы охраны пещер и других карстовых объектов. – М.: Наука, 1983.

8. **Клименко В.И., Шулик Н.В.** Задачи геолого-гидрогеологического и инженерно-геологического изучения глубинного карста Большого Сочи для рационального использования среды. – В кн.: Тезисы III Всесоюзного карстолого-спелеологического совещания. – М.: Наука, 1982.

9. **Маринов Н.А., Орадовская А.К., Пиннекер Е.В.** Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. – Новосибирск: Наука, 1983.

10. **Плотников Н.И., Краевский С.** Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. –М.: Недра, 1983.

11. Рекомендации по усовершенствованию инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства в связи с охраной и улучшением геологической среды.– М.: Стройиздат, 1981.

12. **Сергеев Е.М., Трофимов В.Т., Осипов В.И.** и др. Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды. - М.: Наука, 1981.

13. Справочник по инженерной геологии. /Под.ред. М.В.Чуринова. – М.: Недра, 1981.

14. **Шулик Н.В., Шляхова Л.В.** Ионный сток как показатель развития карста. – В кн.: Материалы Всесоюзного совещания "Строительство на закарстованных территориях". – М.: Стройиздат, 1983.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 3
1. Комплексная оценка природных условий распространения и формирования карстовых полостей и подземных вод карстовых массивов 4
Физико-географические условия 4
Климатические условия 5
Гидрологические условия 6
Геологические условия 8
2. Инженерно-геологические изыскания карстовых областей 10
Гидрогеологическое районирование 10
Условия формирования подземных вод 11
Маршрутные наблюдения 13
Полустационарные исследования 15
Стационарные изыскания 16
Индикаторные опыты 16
Измерения температуры подземных вод 19
Гидрохимические наблюдения 20
Составление водного баланса карстовых массивов 21
Расчет ионного стока карстовых массивов 25
3. Карстолого-спелеологические изыскания карстовых областей . . . 28
Классификация карстовых полостей 28
Морфология карстовых полостей 29
Геология карстовых полостей 33
Гидрология карстовых полостей 40
Микроклимат карстовых полостей 42
Отложения карстовых полостей 48
4. Рациональное использование и охрана окружающей природной среды при строительном освоении территории 56
Литература 63

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации
по проведению
инженерно-геологических
изысканий карстовых
областей
Черноморского
побережья СССР

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав.редакцией Л.Г.Бальян
Редактор И.А. Баринова
Мл.редактор О.Я. Крачун
Технический редактор И.В. Берина
Корректор Е.Р. Герасимюк
Оператор Е.А. Новоселова
Н/К

Подписано в печать 24.07.86 г. Т– 13566 Формат 84x108 1/32
Бумага офсетная № 1 Набор машинописный Печать офсетная
Усл. печ. л. 3, 36 Уч.-изд. л. 5,6 Усл. кр.-отт. 3,68
Тираж 1 800 экз. Изд. № XII-1045 Зак. № 2031 Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
129041 Москва, Б. Переяславская, ул. 46

gost.e-ecolog.ru