

КАЧЕСТВО ВОДЫ И ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

7.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В данной главе рассматриваются основные аспекты отбора проб для определения качества воды и конкретные вопросы, связанные с отбором проб в реках, ручьях, озерах, водохранилищах и подземных водах. Более подробное описание этого вопроса можно найти в ссылках (WMO, 1988; UNEP/WHO/UNESCO/WMO, 1992) и в более специализированных публикациях по качеству биологической воды (American Public Health Association and American Water Works Association, 1999; Genin and others, 1997). Руководство по химическому или изотопному пробоотбору и методам анализа предоставлено в обширном списке литературы, подготовленном Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ).

7.2 ОСОБЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОНИТОРИНГУ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Существует несколько методов мониторинга качества воды. Мониторинг может осуществляться через сеть стратегически расположенных станций с длинным рядом наблюдений, через повторную выборку краткосрочных обследований или, чаще всего, путем сочетания обоих методов.

При расположении станций и взятии проб следует учитывать следующие факторы:

- а) доступность пункта взятия проб и расстояние до лаборатории (для разрушающихся проб);
- б) наличие персонала, фондов, средств для обработки полевых и лабораторных данных;
- в) межведомственные соображения;
- г) тенденции в изменении населения;
- д) климат, географию, геологию;
- е) потенциальный рост центров (индустриальных и муниципальных);
- ж) безопасность персонала.

Частота наблюдений зависит от назначения сети, значения, придаваемого станции отбора проб, уровня взятия проб, пространственной изменчивости изучаемых параметров, и что самое главное, от имеющихся фондов. При отсутствии достаточной исходной информации частота взятия проб принимается произвольно на основе знания местных условий. Эта частота может быть скорректирована после значительного

числа взятых и анализированных проб и после того, как было отмечено, какие вещества присутствуют, в каких концентрациях и какова наблюдаемая изменчивость.

На выбор станции отбора проб также влияют существующее и планируемое использование воды, стандарты или нормы качества речной и озерной воды, доступность потенциальных участков отбора проб (важно, кому принадлежит земля, дороги, взлетные площадки), наличие электричества, наличие данных о качестве воды. Рисунок I.7.1 показывает очередность действий для выбора участка отбора проб.

7.2.1 Параметры качества воды

Параметры, характеризующие качество воды, могут иметь несколько классификаций. Они могут классифицироваться:

- а) по физическим свойствам (таким как температура, электропроводность, цвет, мутность);
- б) в качестве элементов состава воды (например, pH, щелочность, жесткость, окислительно-восстановительный потенциал, частичное давление двуокиси углерода);
- в) по неорганическим химическим компонентам, таким как растворенный кислород, карбонаты, бикарбонаты, хлориды, фтористые соединения, сульфаты, нитраты, соединения аммония, кальция, магния, натрия, фосфаты и тяжелые металлы;
- г) по органическим химикатам (таким, как фенолы, хлорированные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды и пестициды);
- д) по биологическим компонентам как по микробиологическим, таким как фекальные калиформы, так и по макробиотическим, таким как черви, планктон, рыба и растительность.

7.2.2 Качество поверхностных вод

Часто задачи программы точно определяют оптимальное место для отбора проб в речной или озерной системе. Например, для того чтобы определить влияние притока на реку, в которую он впадает, пункты отбора проб понадобятся располагать выше и ниже места впадения притока в реку. В других случаях место и частота взятия проб будут определяться законами загрязнения водоемов или требованиями определенного использования водных объектов, например,

допуск на расход поверхностных вод может определить детали мониторинга, такие как места отбора проб, количество проб, частота проведения анализов и параметры, необходимые для анализа.

Стратегия взятия проб различна для разных видов среды и водных объектов, например: для воды, наносов или биоты. Если цели исследования касаются влияния деятельности человека на качество воды в бассейне данной реки, бассейн может быть разделен на две части — естественную и подвергшуюся влиянию. Последняя может быть впоследствии подразделена на стационарные зоны и зоны, влияние на которые меняется, такие как сельскохозяйственные, зоны проживания людей и промышленные зоны. В изучении

кислотных отложений важным фактором является чувствительность земной поверхности к отложениям. Рисунки I.7.2 и I.7.3 дают примеры того, как располагать пробоотборные станции в озерных и речных системах, чтобы они максимально отвечали своему назначению.

Сбор соответствующей информации о районе проведения мониторинга является важным этапом в оценке качества воды. Искомая информация включает в себя геологические, гидрологические и климатические аспекты. Кроме того, актуальными являются демографические условия и планируемое использование воды (существующие водозаборы и сбросы, дренажные скважины, планы ирригации, регулирование стока).

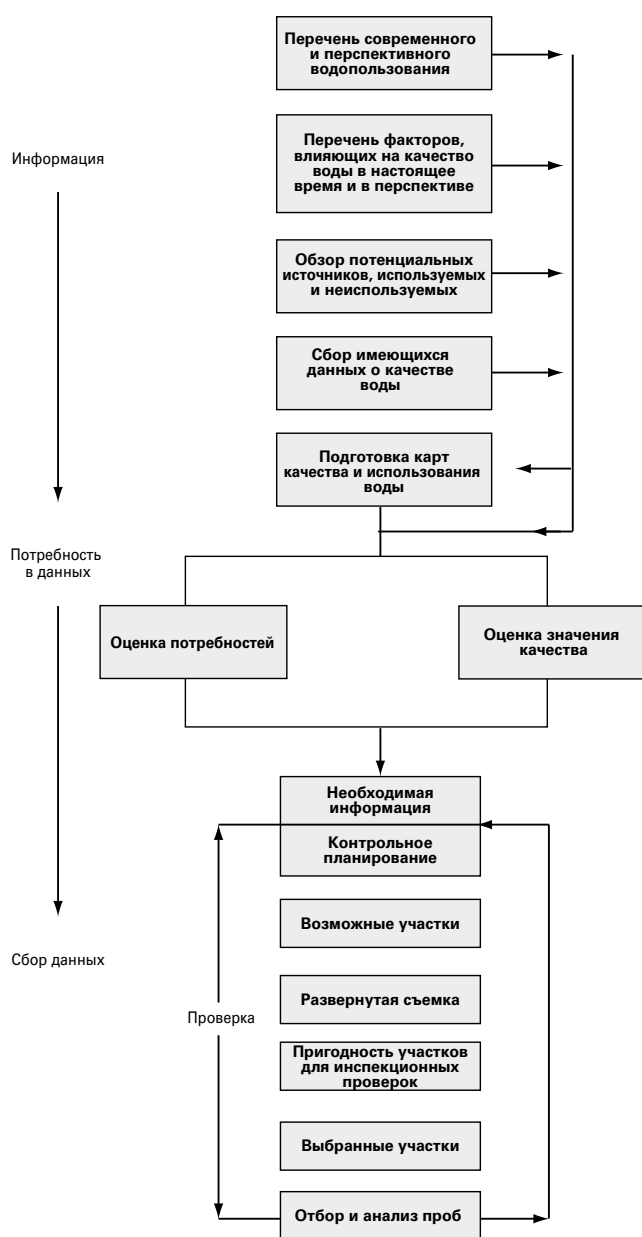
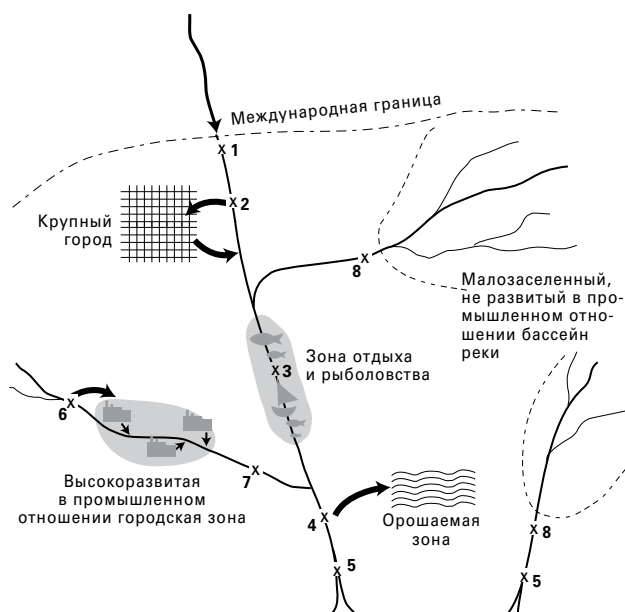
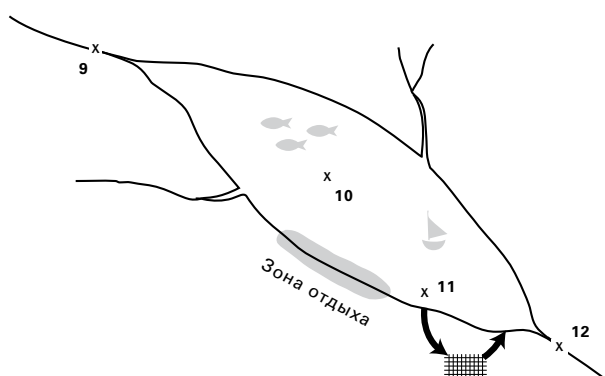


Рисунок I.7.1. Схема для выбора участков отбора проб на качество воды



Станция	Критерий
1	Непосредственно ниже по течению от международной границы
2	Водозабор для снабжения крупного города
3	Зона для рыболовства, отдыха и развлечений
4	Водозабор для крупномасштабной сельскохозяйственной ирригации
5	Зона выклинивания пресной воды в главной реке при приливных явлениях
6	Водозабор для снабжения крупных промышленных объектов
7	Ниже по течению от сброса промышленных стоков и на важном притоке, влияющем на главную реку
8	Базовая станция, вода в естественном состоянии

Рисунок 1.7.2. Участок мониторинга: реки



Станция	Критерий
9	Основной питающий приток озера
10	Общее качество воды в озере
11	Водозабор для снабжения крупного города
12	Вода, вытекающая из озера

Рисунок 1.7.3. Участок мониторинга: озера

Расстояние вниз по течению до места полного перемешивания поверхностных вод примерно пропорционально скорости течения и квадрату ширины русла реки. На мелководных реках воды достигают вертикальной однородности ниже источника загрязнения. Перемешивание воды по ширине обычно достигается гораздо медленнее. Таким образом, бывает, что на широких реках с быстрым течением на протяжении многих километров от точки поступления загрязнения и вниз по течению реки, полного перемешивания так и не происходит. Озера могут подвергаться вертикально стратификации по причине температуры или поглощения большого количества соленой воды.

Для определения репрезентативности проб в водном сечении реки рекомендуются различные методы, например, шесть проб анализируются в двух экземплярах — в трех местах по ширине реки и на двух глубинах — или пробы берутся на средней глубине через каждую четверть ширины реки, или на других, равных друг от друга расстояниях по ширине реки. Если же нельзя получить репрезентативные пробы, рекомендуется выбрать другой участок, рядом с этим или ниже по течению. Другая альтернатива состоит в получении средневзвешенной пробы, составленной из проб, взятых на вертикалях водного сечения реки.

Продольное перемешивание нерегулярных или циклических сбросов в реку будет иметь второстепенное влияние на положение мест взятия проб. Это влияние должно быть учтено при определении частоты взятия проб и интерпретации полученных данных.

Для озерных станций рекомендуются следующие процедуры: отбор проб в течение 5 дней подряд в самое теплое время года и в течение 5 дней подряд каждые 3 месяца. Другой метод заключается в том, чтобы брать пробы, по крайней мере 6 раз в год, вместе с дополнительной произвольной пробой в течение следующих периодов: во время открытой воды перед летней стратификацией, после летней стратификации в период перемешивания подо льдом, а также в период снеготаяния и дождевых паводков.

Подобным образом, если возможно, следует брать дополнительные пробы в реках после штормов, во время половодья и дождевых паводков. Если построить графическую связь параметров во времени, то среди произвольных колебаний можно заметить циклические вариации.

Для того чтобы обнаружить циклические явления, необходимо, чтобы интервал между взятием проб был не больше одной трети времени самого короткого цикла, и отбирать пробы следует в течение периода, который был бы по крайней мере в 10 раз больше, чем

время самого длинного цикла. Поэтому при начальном обследовании долгосрочные циклы не получают подтверждения, но они станут заметны во время работы сети. Для обнаружения циклических вариаций желательно брать пробы произвольно, т. е. в разные дни недели и в разное время суток.

7.2.3 Качество осадков

Некоторые аспекты качества осадков, особенно оборудования для отбора проб, рассмотрены в разделе 3.16. Обычно участки для взятия проб надо подбирать так, чтобы они давали точную и репрезентативную информацию о временных и пространственных изменениях химических элементов, представляющих интерес. Необходимо принимать во внимание следующие важные факторы: преобладающие направления ветра, источники соединений, представляющих интерес, частоту выпадения осадков (дождя, снега, града) и другие метеорологические процессы, влияющие на осадки. Следует также учитывать и местные условия:

- a) в пределах 1 км от участка взятия проб не должно быть никаких движущихся источников загрязнения, например: застоявшегося воздуха, наземного или водного транспорта;
- b) в пределах 1 км от участка взятия проб не должно быть наземных складов сельскохозяйственных продуктов, жидкого топлива или каких-либо других инородных материалов;
- c) пробоотборники должны быть установлены на плоской поверхности земли с ненарушенным почвенным покровом, предпочтительнее с травяным, окруженным деревьями, на расстоянии не менее 5 м от пробоотборника. Поблизости не должно быть разносимых ветром источников загрязнения таких, как обработанные поля или дороги без покрытия. Особенно следует избегать зон сильной турбулентности, т. е. зон сильных вертикальных турбулентных потоков, водоворотов с подветренной стороны гор, обдуваемых ветром горных вершин или крыш зданий;
- d) в пределах 5 м от участка не должно быть объектов более высоких, чем пробоотборник;
- e) если поблизости имеется объект более высокий, чем пробоотборник, то расстояние, на котором он может находиться, должно быть не меньше чем разница в их высоте, умноженная на 2,5. Особое внимание необходимо уделять высотным проводам;
- f) коллектор пробоотборника должен быть расположен на высоте не менее 1 м от земляного покрова, чтобы в него попадало как можно меньше песка, пыли или брызг;
- g) для автоматических пробоотборников, для их крышек и датчиков, а в ряде случаев и для летнего охлаждения и зимнего таяния требуется электроэнергия. Если используются электролинии, провода

не должны быть над головой; если используются генераторы, то их выхлопные трубы должны находиться далеко и с подветренной стороны от коллектора;

- h) рассматривая проблему в масштабе континента, надо сказать, что предпочтительно, чтобы участки отбора проб находились в удаленной сельской местности, вдали от источников загрязнения, не менее чем в 50 км с наветренной стороны и в 30 км в других направлениях.

Возможно, не всегда все эти условия могут быть выполнены. При описании станции следует учитывать эти рекомендации и указывать точные характеристики каждого участка, выбранного для отбора проб.

В случае крупных озер, осадки над озером могут быть не такими сильными, как у берега, и доля крупных частиц в них может быть меньше. Для пробоотбора в середине озера надо установить пробоотборник на буге, на скале, на отмели или на небольшом острове.

Отбор проб осадков может производиться для каждого эпизода дождя или для месячного периода. В последнем случае пробы дождя хранятся для последующего анализа в течение того же периода. Анализ проб, взятых во время выпадения осадков, позволяет определить загрязняющие вещества, связанные со штормом, ливневым дождем или снегопадом, а анализ траектории ветра поможет определить вероятные источники загрязнения. Однако этот режим пробоотбора отличается большой чувствительностью. Частота пробоотбора осадков такая же, как при отборе проб поверхностных вод, статистический учет тоже такой же.

7.2.4 Качество подземных вод

Качество подземных вод постоянно меняется и ухудшается в результате человеческой деятельности. Точечными источниками локального загрязнения являются выгребные ямы и септические емкости, коммунальные стоки и сточные емкости, загрязнения с открытых свалок и со свалок с грунтовой засыпкой, стоки с животноводческих ферм, промышленные стоки, охлажденный возвратный сток в поглощающие скважины и утечки с танкеров или трубопроводов. На более значительных территориях может наблюдаться снижение качества подземных вод в результате возвратных вод с мелиорируемых полей, подпитки водоносных горизонтов обработанными сточными водами или загрязненными промышленными стоками, поступления в пресные водоносные горизонты приграничных морских вод или минерализованных вод из других водоносных горизонтов.

Пробы воды могут отбираться как из безнасосных артезианских скважин, так и из скважин, оборудованных

насосом. Пробоотбор из колодца следует производить только после достаточно длительной откачки воды, чтобы обеспечить забор пробы из водоносного слоя, а не из колодца. Это особенно важно для открытых колодцев или для тех колодцев, стенки которых подвержены коррозии. Для необорудованных скважин нужны портативные насосы. Для пробоотбора на разной глубине механическое или пневматическое оборудование должно быть использовано для изоляции особых мест. Пробоотбор в неглубоких водоносных слоях и насыщенных зонах между непроницаемыми слоями может быть произведен за счет понижения пьезометра на нужную глубину. Основные параметры, используемые для определения качества поверхностных вод, могут также использоваться для мониторинга подземных вод, за исключением мутности, которая обычно не является проблемой.

Для планирования отбора проб из водоносного слоя требуется большое количество гидрологической информации. Надо обладать данными об уровне воды, гидравлических градиентах, скорости и направлении движения воды. Скорость движения подземных вод внутри водоносного горизонта очень изменчива. Она может находиться в пределах от $1 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1}$ на равнинах до более чем $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ в карстовых водоносных слоях. Необходимо произвести инвентаризацию колодцев, буровых скважин и родников, питаемых водоносным слоем, и учесть детали землепользования.

Уже имеющийся действующий колодец представляет собой недорогой вариант для отбора проб и определения уровня грунтовых вод, хотя такие колодцы не всегда удобно расположены и не всегда сделаны из незагрязняющих материалов. Колодец, которым пользуются и из которого регулярно откачивают воду, предпочтительнее заброшенного колодца. Зброшенные колодцы, которыми не пользуются, часто находятся в плачевном состоянии, с поврежденными или протекающими стенками и проржавленным насосным оборудованием. В них часто бывает трудно измерить уровень воды, и они небезопасны.

Изменения, происходящие в подземных водах, могут быть очень медленными и зачастую правильно описываются на основании ежемесячных, сезонных и даже ежегодных пробозаборов. В некоторых случаях, таких как аллювиевые водоносные горизонты с большим поступлением воды с поверхности, изменчивость во времени качества воды может быть очень важной.

7.2.5 Качество отложений

Большинство изложенных в предыдущих разделах критериев отбора проб применимо и к отбору проб отложений (5.5.3 и 5.5.4). Поэтому здесь будут описаны только некоторые дополнительные рекомендации.

Там, где требуются данные о переносе отложений в реке, участки отбора проб необходимо располагать вблизи водомерных постов с тем, чтобы точная информация о расходе воды в реке могла быть получена в любое время. Следует избегать размещения пробоотборников вверх по течению, поблизости от слияния рек, ибо тогда они могут подвергаться влиянию подпора и застоя воды. В реках, слишком глубоких для перехода вброд, участки отбора проб следует располагать под мостом или под гидрометрической люлькой. Если проба берется с моста, то ее обычно берут на той стороне моста, которая выше по течению. Пробоотбор в районе высокой турбулентности, например вблизи волнолома, часто бывает нерепрезентативным. Надо также обращать внимание на скопление твердых наносов и мусора у волноломов, ибо это может сильно отклонять течение и, следовательно, распределение наносов. Составные пробы, полученные в результате смешивания воды из разных точек отбора по водотоку, могут считаться репрезентативными по среднему расходу наносов, если вода хорошо перемешана.

Для взятия проб донных отложений в реках с быстрым течением лучшими местами считаются те, где скорость течения минимальна, т. е. на барах в середине реки, при повороте или изгибе русла, на отмели или в других защищенных местах.

Участки отбора проб должны быть доступны во время паводков, ибо в это время скорость переноса отложений бывает наибольшей.

Для рек, при определении пика стока загрязняющих наносов, надо рассматривать два случая:

- а) для загрязнения, идущего из точечного источника, пробоотбор следует проводить во время межени стока, когда приток загрязнений меньше разбавлен;
- б) когда загрязнение идет из рассеянных источников, например от стоков с сельскохозяйственных земель, обработанных удобрениями или пестицидами, тогда пробоотбор следует проводить во время паводков, когда загрязняющие вещества вымываются из почвы.

Если одной из целей является определение количества переносимых отложений в речной системе, то следует иметь в виду, что пик концентрации отложений не обязательно соответствует времени пика расходов воды. Кроме того, высокие расходы воды приведут к прогрессивно падающим пикам отложений — эффект истощения, происходящий от уменьшения количества материала, способного подвергнуться суспензии. Для озер базовый пробоотборный участок должен быть расположен в географическом центре озера. Если озеро очень большое (площадь $> 500 \text{ км}^2$), то в таком случае может понадобиться несколько базовых

станций. Если нужен отбор проб наносов разных типов, то можно использовать данные акустического обследования (эхолот) как для определения типов поверхностного материала (песок, гравий, глина), так и для определения наличия подповерхностного расчленения.

Вспомогательные участки отбора проб следует размещать между базовой станцией и устьем главного притока, или между базовой станцией и источниками загрязнения. Пункты отбора обычно размещают вдоль длинной оси озера и на пересекающихся местах поперечниках. Для приблизительного определения качества наносов в озере среднего размера бывает обычно достаточно 3–5 станций. Но для статистической достоверности, видимо, потребуется большее число участков отбора проб.

На частоту пробоотбора в озерах влияет, как правило, низкая концентрация взвешенных наносов. Во время максимума и минимума продуктивности водорослей и во время большого поступления речных наносов, следует использовать ловушки наносов. При повторном пробоотборе донных отложений необходимо учитывать скорости накопления наносов. В зоне умеренно-прохладного климата скорость накопления наносов часто не превышает 0,1–0,2 мм в год, и если нет какого-то нового источника загрязнения и не поступает сколько-нибудь заметной новой информации, то достаточно проводить повторный отбор проб раз в 5 лет.

7.3 МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ [ГОМС E05]

Отбор проб представляет собой процесс взятия репрезентативного количества воды из реки, озера или колодца. Методы отбора проб определяются рядом факторов, которые включают: материал отбираемой пробы, тип пробы и анализируемый параметр качества, который в свою очередь определяет применяемое оборудование и методы.

Процедуры отбора должны быть адаптированы к различным компонентам. Они подразделяются на:

- устойчивые: компоненты не меняются со временем;
- почти устойчивые: компоненты меняются со временем, но могут быть стабилизированы в течение 24 часов или меньше после соответствующей обработки;
- неустойчивые: компоненты быстро меняются и их невозможно стабилизировать.

Группы а) и б) включают в себя компоненты, которые можно тестировать в лаборатории, а компоненты группы с) тестируются на месте отбора.

7.3.1 Виды проб воды

7.3.1.1 Грейферные пробы

Сбор грейферных проб наиболее подходит в тех случаях, когда требуется охарактеризовать качество воды в конкретном месте. Они также применяются для установления истории данных о качестве воды, основанных на относительно коротких промежутках времени. Грейферные дискретные пробы (локальные) берут в определенном месте и на определенной глубине. Грейферные, интегрированные по глубине пробы, отбирают по всей глубине водного столба и в определенном месте и времени.

7.3.1.2 Составные пробы

Составные пробы получают путем смешивания нескольких дискретных проб для получения среднего значения качества воды за период отбора. Может быть использован дискретный или продолжительный отбор, и пропорции смешивания рассчитываются на базе времени расхода. Потом часть составной пробы анализируется. Их очевидное преимущество заключается в экономии за счет уменьшения количества проб, которые следует проанализировать. С другой стороны, составные пробы не позволяют обнаружить изменения элементов, которые происходят за время отбора пробы.

Имеются два основных вида составной пробы — последовательная и пропорциональная потоку.

Последовательная проба образуется непрерывным, постоянным накачиванием пробы или смешением равных объемов воды, собранных в регулярные интервалы времени.

Проба, составная пропорционально потоку, получается в результате непрерывного накачивания со скоростью, пропорциональной потоку, смешением равных объемов воды, собранной с временными интервалами, которые обратно пропорциональны объему потока, или смешением объемов воды, пропорциональных потоку и отобранных через одинаковые временные интервалы.

7.3.2 Отбор репрезентативных проб воды

Для взятия проб на местах, расположенных на однородном, с хорошим перемешиванием участке русла, может быть достаточным отбор интегрированных по глубине проб в одной вертикали. Для небольших потоков обычно достаточно грейферной пробы, взятой в центре потока.

В других случаях, может возникнуть необходимость отобрать пробы для разреза русла в ряде точек и глубин. Количество и типы отобранных проб зависят от ширины, глубины, расхода, количества переносимых взвешенных наносов и существующей водной жизни.

Как правило, достаточно использовать от трех до пяти вертикалей, а для мелких и узких потоков требуется еще меньшее количество.

Наиболее общим является метод одинаковых приращений по ширине, в котором вертикали располагаются на равном расстоянии по течению. Для метода одинаковых приращений по расходу необходимо знать детальное распределение потока в разрезе, чтобы разбить вертикали, расположенные пропорционально приращениям расходов.

7.3.3 Отбор проб для анализа стабильных изотопов воды

Для завершения изучения качества воды будет интересно рассмотреть стабильные изотопы молекулы воды (кислород-18 и дейтерий). К примеру, в прибрежных зонах анализ стабильных изотопов как в поверхностных, так и в подземных водах, полезен для определения причин солености внутренних вод, которыми являются человеческая деятельность, земледелие или соленая вода выше по течению. Изотопы также помогают определить местоположение водоносных горизонтов, изучить связь подземных и поверхностных вод или определить природные процессы, влияющие на воду, такие как смешивание или испарение. Более подробная информация по использованию стабильных изотопов в связи с этой темой содержится в списке литературы (Mook, 2000).

Изотопный анализ требует специализированных лабораторий, но необходимые процедуры отбора воды довольно просты. Особый протокол процедуры отбора изотопов и их хранения заключается в следующем:

- a) необходимо использовать затемненные стеклянные или плотные пластиковые бутылки (от 10 до 60 мл), обычно 50 мл, и герметические колпачки (укрепленные изнутри пластиковой пробкой);
- b) необходимо промыть контейнеры для сбора воды 3 раза;
- c) необходимо наполнить бутылку до краев во избежание испарения, которому способствует остаточная вода и давление пара. При транспортировке по воздуху бутылки не должны быть переполнены, и крышка должна быть покрыта парафиновой пленкой;
- d) пробы снега следует собирать в чистые пластиковые мешки (использовать чистые перчатки),

потом их постепенно растапливают перед помещением в контейнеры;

- e) пробы льда сохраняют в замороженном состоянии до прибытия в лабораторию;
- f) пробы не должны фильтроваться, за исключением случаев, когда они были в контакте с нефтью (используемой для защиты от испарения собранных осадков);
- g) пробы могут сохраняться в течение долгого времени (больше года) в прохладных темных местах.

7.3.4 Измерение радиоактивности

Подробные инструкции по анализу радиоизотопов, вопросы качества воды, а также рекомендуемые емкости и методы консервации представлены в ссылках (United States Geological Survey, 1984; IAEA, 2004) и списке дополнительной литературы в конце этой главы.

7.3.4.1 Источники радиоактивности в воде

Радиоактивность в воде может носить естественный и антропогенный характер. Основными природными источниками являются вымывание из горных пород, содержащих радиоактивные минералы, и попадание радионуклидов с космическим излучением. Главные источники искусственной радиоактивности — добыча урана, атомные станции, испытание ядерного оружия и мирное использование ядерных материалов и приборов, например производство энергии.

Основные элементы, поступающие в поверхностные и подземные воды естественным путем, — это уран, радий-226, радий-228, радон, калий-40, тритий и углерод-14. Все они, кроме двух последних, поступают из радиоактивных минералов. В районах с большим количеством радиоактивных минералов главным радиоактивным компонентом, присутствующим в воде, является природный уран. Тритий и углерод-14 образуются путем взаимодействия нейтронов космического излучения с азотом в верхних слоях атмосферы. Тритий (^3H), присутствующий в воде, обычно выпадает вместе с осадками, а радиоактивный углерод связывается в атмосфере с двуокисью углерода.

Эти радионуклиды также образуются при испытании термоядерного оружия и используются для датирования подземных вод (время, прошедшее между расходом водоносного горизонта и отбором воды). Начиная с 1970 года, вероятно, самым большим источником трития стала ядерная энергетика. Основными изотопами искусственного происхождения, присутствующими в воде, являются стронций-90 и цезий-137.

Геохимическое поведение дочерних элементов может существенно отличаться от поведения исходных

радиоактивных, хотя их распространение, распределение и перенос могут определяться исходным элементом. Международная комиссия по радиологической защите рекомендует их максимально допустимую концентрацию в воде.

7.3.4.2 Отбор и консервация проб для радиоактивного измерения

Специальные емкости для проб (обычно четырехлитровые бутылки) делают из полипропилена, полиэтилена или тефлона. Они должны быть заранее (за день) обработаны путем добавления в них концентрированной азотной кислоты, т. е. предварительно промыты дезинфицирующим средством и несколько раз сполоснуты чистой водой.

Для трития пробы должны отбираться в пластиковые бутылки высокой плотности объемом от 0,5 до 1 литра.

Для углерода-14, в соответствии со специальными требованиями лаборатории, процедура заключается в том, чтобы взять точно один литр воды в бутылку высокой точности или растворить около 2,5 г осадка в более 100 литрах воды в случае низкого содержания углерода.

Основная проблема, с которой можно встретиться при консервации, заключается в адсорбировании на стенках емкости или на взвешенных структурах. Для анализа всего количества радиационных элементов и уменьшения адсорбции в раствор добавляют 2 мл концентрированной соляной кислоты или однопроцентной азотной концентрации на литр пробы.

Обычно для снижения стоимости анализа целесообразно проанализировать годовую комплексную пробу, полученную путем смешивания месячных проб.

При существенном превышении уровня радиоактивности над фоновым, образующие комплексную пробу образцы на радиоактивность обрабатывают отдельно, для того чтобы определить образец(-ы), который(-ые) имеет(-ют) более высокий, чем ожидалось, уровень радиоактивности.

7.3.5 Оборудование и методика отбора проб в полевых условиях

7.3.5.1 Грейферные пробоотборники

Пробоотборники для взятия грейферных проб можно разделить на те, которые пригодны только для нелетучих компонентов и те, которые можно использовать для растворенных газов и других летучих компонентов. Для обоих видов имеются пробоот-

борники дискретные (поверхностные или для заданной глубины) и интегрированные по глубине. Оба вида можно использовать при отборе воды для определения нелетучих компонентов.

Приблизительно интегрированную по глубине пробу можно получить, опуская открытое пробоотборное устройство на дно водного объекта и поднимая его на поверхность с постоянной скоростью таким образом, что емкость становится наполненной, только достигнув поверхности. Для этой цели могут использоваться жесткие пробоотборники. Они представляют собой устройства, иногда железные, которые применяются для крепления бутылки. Бутылки для проб помещаются в жесткий каркас и закрепляются держателем за горлышко. В некоторых случаях жесткий пробоотборник может снабжаться грузами для увеличения веса, чтобы обеспечить вертикальное положение при сильном течении.

Невозможно взять интегрированную по глубине пробу на мелких потоках с недостаточной для этого глубиной. В таких случаях пробу следует отбирать осторожно, не касаясь дна. Можно вырыть углубление на дне, подождать осаждения взвеси и взять пробу у верхней границы углубления.

Дискретные пробоотборники применяются для взятия проб с определенной глубины. Соответствующий пробоотборник опускается на заданную глубину, приводится в рабочее положение, а затем возвращается к исходному положению. Для этих целей часто применяются пробоотборники Ван-Дорна, Кеммерера и насосный:

- бутылка Ван-Дорна: бутылка Ван-Дорна (рисунок I.7.4) предназначена для отбора проб на глубине от двух метров. Горизонтальный тип следует применять при взятии проб у дна, у границы раздела водных масс;
- пробоотборник Кеммерера: пробоотборник Кем-

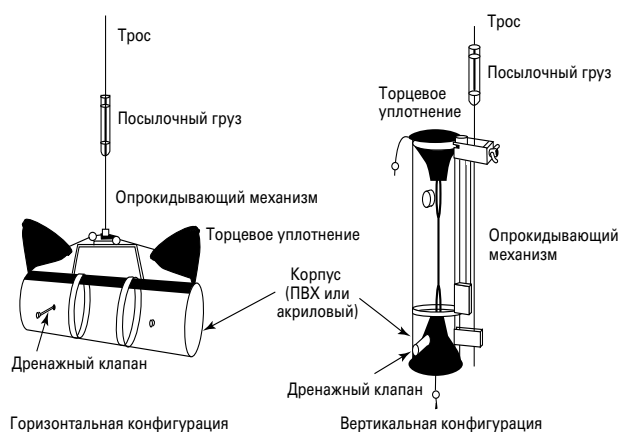


Рисунок I.7.4. Бутылка Ван-Дорна

мерера — один из самых старых видов вертикальных пробоотборников, применяемый обычно на глубинах свыше одного метра. Пробоотборник Кеммерера (рисунок 1.7.5) берет пробы объемом от 0,5 до 8 литров;

- с) насосные пробоотборники: существует три вида насосов для отбора проб с заданных глубин: диафрагмальный, перистальтический и роторный. Обычно диафрагмальный насос — ручной, а перистальтический и роторный — электрические, поэтому их применение в полевых условиях значительно ограничено. Перистальтический насос не рекомендуется применять для отбора проб на анализ хлорофилла, поскольку может иметь место нарушение частиц водорослей. Все насосы должны иметь конструкцию, не загрязняющую пробу воды. Входное и выходное отверстия шлангов также должны быть чистыми.

Бутылка Ван-Дорна имеет преимущество перед пробоотборником Кеммерера в том, что ее крышка не мешает потоку воды проходить через пробоотборник, так как в противном случае это может привести к завихрениям и нарушениям структуры потока.

Батометр с несколькими бутылками (рисунок 1.7.6) позволяет одновременно брать в точке несколько проб одного и того же или различного объема. Каждая проба собирается в свою бутылку. При взятии проб одинакового объема можно получить информацию о мгновенной изменчивости на основе сравнения

дубликатов проб. Пробоотборник может быть переделан для различного количества бутылей и их объемов, в соответствии с требованиями специальных программ. Это достигается изменением размера чашек, длины чашечных втулок и конфигурацией и размером отверстий на чистой акриловой верхней части.

7.3.5.2 Пробоотборники для проб на растворенный кислород

Типичный пробоотборник для определения концентрации растворенного кислорода и биохимической потребности в кислороде (БПК) показан на рисунке 1.7.7. Его нужно вытаскивать открытым, в результате чего возможно попадание смеси из верхних слоев. Когда рейферные пробоотборники определенного вида снабжены донными дренажными трубками, они могут применяться путем заполнения пробы через дно емкости для анализа. Пробы должны отбираться в бутылки с узким горлом для БПК, которые имеют скошенные стеклянные крышки во избежание проникновения в пробу воздуха. Этим пробоотборником нежелательно брать пробы на мелких потоках. В ином случае перемешивание следует уменьшить, аккуратно отклоняя бутылку БПК вниз по течению.

7.3.5.3 Автоматические пробоотборники

Диапазон автоматических пробоотборников варьируется от сложных устройств с изменяющимися программами отбора проб, которым нужен внешний энергоисточник и постоянное помещение, до простых портативных самообеспечивающих приборов, таких как погруженная бутылка с интенсивностью



Рисунок 1.7.5. Пробоотборник Кеммерера

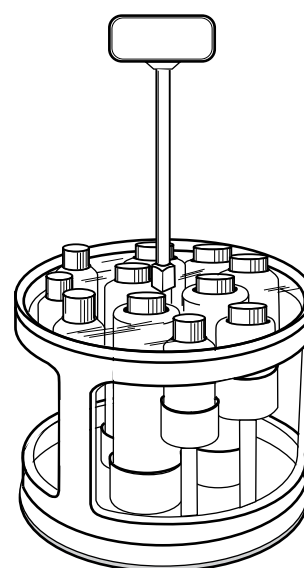


Рисунок 1.7.6. Батометр с несколькими бутылками

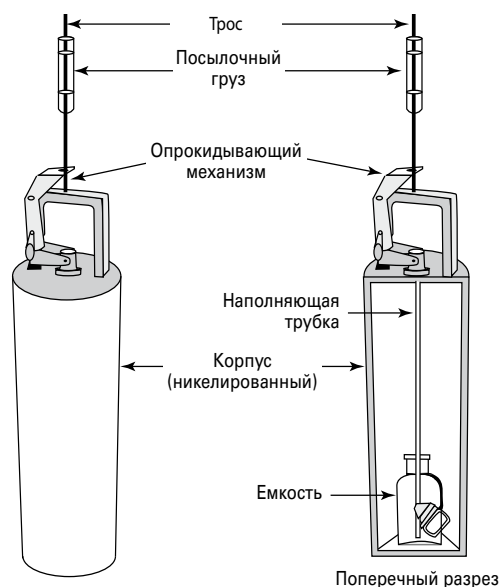


Рисунок I.7.7. Пробоотборник для проб на растворенный кислород

заполнения, определяемой медленным выходом воздуха. Часто эти устройства запрограммированы на отбор каждые 24 часа.

При необходимости проведения частых измерений они снижают затраты на эти работы. Если на гидрометрическом створе установлен автоматический измеритель расхода, некоторые автоматические пробоотборники могут отбирать пробу пропорционально стоку. Имеются как составные (измеряющие расход и отбирающие пробу), так и отдельные модели пробоотборников.

7.3.5.4 Влияние местоположения станции и времени года на порядок отбора проб

В полевых условиях различные ситуации, возникающие при отборе проб, требуют различных практических приемов. В следующих разделах рассмотрены некоторые практические приемы отбора проб, связанные с сезоном и размещением точек отбора проб. Практические приемы отбора проб более подробно рассматриваются в *Manual on Water Quality Monitoring: Planning and Implementation of Sampling and Field Testing* (Руководство по мониторингу качества воды: планирование и применение методов отбора проб и тестирования в полевых условиях) (WMO-No. 680).

Зачастую более предпочтительно производить отбор проб с моста из-за легких подходов и безопасности при всех стоковых и погодных условиях. Однако транспортные средства на мостах представляют другой потенциальный источник опасности, который следует учитывать.

Использование лодок дает больше возможностей и благодаря их использованию снижается время передвижения между точками отбора проб. Точки отбора должны быть отмечены триангуляционными знаками с береговыми вешками, при установке которых необходимо учитывать наличие судоходства, паводков и штормовых условий (раздел 8.5). Самолеты и вертолеты — очень дорогой, но быстрый и надежный способ передвижения. Испытания показали, что волнение воды от вертолетов незначительно влияет даже на содержание растворенного кислорода в пробах воды. Пробы с берега следует брать только при отсутствии других возможностей. Пробу необходимо брать в месте с высокой турбулентностью или там, где глубоко и быстрое течение. Жесткие пробоотборники часто применяются при взятии проб воды с берега или с пристаней.

Взятие проб снега и льда в зимних условиях требует применения несколько отличной методики. Следует соблюдать меры предосторожности, описанные в разделе 8.9. Необходимо также очистить лежащий на льду снег, чтобы обеспечить соответствующую рабочую площадку.

7.4 ПОДГОТОВКА К ВЫЕЗДУ В ПОЛЕ

7.4.1 Общая подготовка

- получить специальные инструкции по методике отбора проб;
- подготовить маршрут в соответствии с планом отбора проб (см. также раздел 2.4.3.);
- подготовить перечень необходимого оборудования и материалов;
- обеспечить наличие бутылей для отбора проб, вымытых в соответствии со стандартными процедурами;
- обеспечить подготовку в лаборатории химических реактивов и других компонентов, необходимых для данной полевой работы;
- подготовить контрольный перечень (см. ниже раздел 7.4.3).

7.4.2 Определение объема пробы

Объемы конкретных проб зависят от типа и количества анализируемых параметров, от аналитического метода обработки и от предполагаемой концентрации элементов в воде. Персонал лаборатории определит необходимый объем пробы. Требуемый объем можно установить путем перечисления всех определяемых параметров и добавляя объем, необходимый для подготовки и анализа, полученную величину затем умножают на два для двойного и три для тройного анализа. Следует помнить следующие моменты:

- a) если нужно избежать взаимодействия пробы с воздухом, емкость с пробой следует надежно закупорить;
- b) если перед анализом пробы ее необходимо интенсивно взбалтывать, емкость с пробой не следует плотно закупоривать;
- c) в случае когда необходимо выполнить оба условия, емкость следует плотно закупорить, предварительно добавив частицы стерильного, совершенно инертного твердого вещества, например бусины;
- d) если в пробе содержатся отдельные частицы, т. е. нерастворенные компоненты, бактерии и водоросли, то для снижения погрешности требуется гораздо больший объем пробы, чем обычно.

7.4.3 Перечень контрольных мероприятий перед полевыми работами

- a) проверить и откалибровать измерительные устройства (рН, удельной проводимости, растворенного кислорода, мутности) и термометры;
- b) пополнить запасы реактивов для определения растворенного кислорода и реагентов для химической консервации пробы;
- c) получить чистый защитный раствор. Величина рН для него не должна быть близкой к предполагаемой величине рН пробы;
- d) получить раствор KCl для проб на рН;
- e) получить карту местности, описание размещения пунктов отбора проб, полевые салфетки, бутылки для проб, бирки, пробоотборное оборудование, консерванты, пипетки и руководства по использованию оборудования;
- f) получить канцелярские принадлежности, дополнительные веревки и набор инструментов;
- g) если полевое оборудование имеет электропитание, получить электрические кабели;
- h) получить дистиллированную воду (сопротивляемость 18,2 МΩ) для определения рН, чистых и буферных измерений;
- i) при необходимости фильтрации, получить фильтрующее устройство;
- j) если необходимо взять пробы для микробиологических исследований, получить стерильные бутылки и ящики со льдом, которые рекомендуются для хранения проб;
- k) проверить содержание аварийного снаряжения и комплекта для оказания первой помощи.

7.5 ПОЛЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

7.5.1 Автоматический мониторинг

Один из видов мониторинга предусматривает откачку воды и проведение измерений на берегу. Другие

устройства используют зонды, погружаемые в воду, которые проводят измерения непосредственно на заданной глубине. Самым современным является устройство с автономным питанием на батареях, которое может работать на глубине до 300 м.

В настоящее время автоматически измеряются следующие параметры: рН, температура, удельная проводимость, мутность, растворенный кислород, хлориды, окислительно-восстановительный потенциал, уровень воды, интенсивность солнечного света и ультрафиолетовая поглощаемость.

7.5.2 Параметры, измеряемые в полевых условиях

Удельная проводимость, рН, растворенный кислород, температура, мутность, цвет и прозрачность могут изменяться при хранении пробы и поэтому должны измеряться в полевых условиях, по возможности, сразу после отбора пробы.

Наблюдатель, берущий пробу, должен отмечать все необычные проявления или отклонения от предшествующего состояния на водном объекте. Эти наблюдения за качеством воды могут включать: необычный цвет, запах, пленки на поверхности и плавающие предметы. Следует отмечать также любые специфические условия окружающей среды, например: дождь, сильный ветер, паводок или вскрытие ледяного покрова.

7.5.2.1 Измерение рН

Величина рН незагрязненных природных вод зависит от условий равновесия ионов двуокиси углерода, карбоната и гидрокарбоната. Концентрация двуокиси углерода может существенно меняться в результате изменения границы раздела воздух-вода или в результате фотосинтеза и процессов разложения. Изменения рН вызываются кислотными дождями, сбросами промышленных вод, дренированием полезных ископаемых или выщелачиванием минералов. Величина рН является важным критерием качества воды, поскольку она оказывает влияние на водную жизнь и на возможность использования воды. Поскольку рН зависит от температуры, измерение должно быть строго привязано к температуре пробы в момент отбора. Определение величины рН желательно проводить в точке отбора проб, используя цифровой измеритель, совмещенный с одновременным измерителем температуры.

Определение рН можно выполнять также колориметрическим способом при помощи индикаторов рН и буферных растворов путем визуального или колориметрического сравнения. Обычно этот метод менее точен, чем электрометрический, и ограничен

использованием воды с низким содержанием красящих веществ и незначительной мутностью. При полевых измерениях измеритель следует заранее откалибровать по стандартному буферному раствору в соответствии с руководством по использованию. Необходимо выровнять температуру буферного раствора и электродов путем погружения бутылей с буферным раствором и электродов в пробу воды.

Особую осторожность следует проявлять в целях предотвращения попадания воды в бутылки с буферным раствором и в отверстие эталонного электрода. Если электроды давно не использовались или содержались в течение нескольких дней сухими, может потребоваться от 10 до 20 минут для стабилизации температуры. Следует оберегать измеритель от экстремальных температурных изменений при измерении, поскольку это влияет на устойчивость электронной системы и точность измерений.

Если комбинированные устройства электродов долго находились в сухом состоянии, стеклянную мембрану необходимо намочить в растворе KCl (3 моль·л⁻¹) за 12–24 часа до применения. Измерители могут иметь резервуар для хранения зонда, который должен заполняться электролитом. Неправильно подготовленные перед использованием стеклянные электроды могут не стабилизироваться и потребуют частой калибровки.

Если измеритель pH показывает плавное отклонение, а зонд заполнен и правильно подготовлен, необходимо сам зонд заполнить дополнительным раствором KCl (3 моль·л⁻¹).

В том случае, когда происходит постоянное отклонение, следует заполнить электрод гидроксидом аммония. Зонд, как и любую другую часть оборудования, необходимо постоянно оберегать от загрязнения, низкой температуры и неосторожного обращения.

7.5.2.2 Измерение электропроводности

Электропроводность является показателем солёности и концентрации неорганических оснований ионов, растворённых в воде. Для большинства природных вод существует линейная зависимость между содержанием растворённых солей и электропроводностью.

Более предпочтительно измерять электропроводность непосредственно на месте. Измеритель электропроводности, показания которого зависят от температуры, должен выдать измеренное значение, соответствующее либо принятой температуре (обычно 20 или 25 °C), либо температуре взятой пробы, которая должна быть измерена одновременно. Это важно для расчёта и сравнения электропроводности пробы в заданное время.

Перед измерением контейнеры для пробы должны быть несколько раз промыты той же водой, из которой отбирается проба. Нельзя использовать для измерения электропроводности ту же пробу, которая использовалась для измерения pH, поскольку в ней происходит диффузия KCl из-за pH-электрода.

Калибровку измерителя электропроводности нужно выполнять перед каждым полевым измерением. Для этого должен использоваться стандартный раствор KCl с удельной электропроводностью, близкой по величине к ожидаемой при полевых измерениях. Устройство для измерения электропроводности требует осторожного обращения и обслуживания, предъявляемого ко всем чувствительным приборам. Точность показаний требует защиты измерительного устройства от грязи, ударов и низкой температуры.

Точность измерения зависит от типа измерительного устройства, способа тарировки и от фактической величины электропроводности пробы воды. При правильном выборе и точной тарировке измерительного устройства погрешность измерения составляет $\pm 5\%$ от диапазона изменения электропроводности, если температура находится в пределах 0–40 °C, и температурная поправка вводится автоматически.

7.5.2.3 Измерение растворённого кислорода

Концентрация растворённого кислорода является важным показателем для оценки качества поверхностных и обработанных сточных вод.

Существует два метода измерения растворённого кислорода: первый осуществляется на месте измерения с помощью полярографического или потенциометрического (оксиметр) зонда. Второй — с помощью химического анализа Винклера. В методе Винклера добавление реактива (раствор Mn^{++} и стандартный раствор йодида) в пробу в момент его забора способствует фиксации кислорода. Впоследствии анализ будет произведён в лаборатории на пробе, хранящейся в темноте. Существует также полевой метод, основанный на том же принципе, а именно метод Хача, использующий предварительно дозированные реактивы.

Поскольку концентрации могут существенно меняться в течение дня, рекомендуется проводить измерения на месте.

Для химического метода три пробы воды должны быть отобраны для пробоотбора растворённого кислорода (раздел 7.3.5.2). Концентрация растворённого кислорода измеряется счётчиком РК или методом

Винклера. За истинное показание принимают среднее из по крайней мере двух отсчетов, отличающихся не более чем на $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

В электромагнитных методах зонд реагирует на активность кислорода, а не на концентрацию. Пресная вода, насыщенная кислородом, дает тот же результат, что и насыщенная кислородом соленая вода, при том же давлении и температуре, хотя растворимость кислорода в соленой воде меньше. Поэтому соленость, температура и атмосферное давление должны учитываться во время пробоотбора.

Применение химического метода Винклера затруднено, когда проба сильно окрашена, замутнена, содержит быстро окисляемые вещества или другие мешающие субстанции. Этот метод широко используется в лабораториях из-за своей точности в измерении концентрации растворенного кислорода.

Метод зонда может использоваться, когда для исследования достаточна точность от $\pm 0,5$ до $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ истинного значения. Если проба имеет относительно высокое содержание растворенного кислорода, то указанная точность соответствует действительности, но в случаях малого содержания растворенного кислорода в анализе важно использовать свежую пробу и тщательно откалиброванный измерительный прибор.

7.5.2.4 Измерение температуры

Для измерения температуры воды применяются термометры различных типов: спирто-толуоловые, ртутные или электротермометры. Последняя категория включает термодатчики и менее портативные виды — термисторы, кварцевые и термометры сопротивления. Некоторые измерительные приборы, например для измерения растворенного кислорода, pH, окислительно-восстановительного потенциала или удельной проводимости, снабжены устройством для определения температуры.

При использовании термометра его сначала поливают частью пробы, а затем погружают в пробу приблизительно на 1 минуту или до стабилизации его показаний. Нельзя помещать термометры в емкости с пробой, которые направляются в лабораторию. Значение температуры регистрируют в полевых бланках в градусах Цельсия.

Обычно точность измерения температуры не превышает $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а во многих случаях вполне приемлемой оказывается точность наблюдений за температурой воды в $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, иногда же она может приближаться к $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому важно точно определить требования, предъявляемые к точности измерения, чтобы выбрать соответствующий тип термометра.

7.5.2.5 Измерение мутности

Мутность является оптической мерой взвешенных частиц в пробе воды, таких как глина, ил, органические частицы, планктон и микроскопические организмы. Мутность оказывает влияние фактически на все виды водопользования и увеличивает затраты на обработку воды. По возможности мутность следует измерять в точке. Для измерения мутности используют визуальный метод (в единицах мутности Джексона или JTU) или нефелометрический метод (в нефелометрических единицах мутности или NTU). При применении мутномера Джексона определяется расстояние, на котором теряет очертания световой объект и сравнивается со стандартными взвешиваниями.

Нефелометрический метод является более предпочтительным, поскольку он обладает большей точностью, чувствительностью и применяется в большом диапазоне мутности. Однако разные конструкции приборов могут дать различные результаты для одной и той же пробы. К ошибке может привести цвет пробы, так как будет изменяться интенсивность источника света. Эти проблемы можно уменьшить, применяя устройство, которое одновременно измеряет рассеивание и прохождение света, преобразуя затем их в расстояние.

Для работы измерителя мутности готовят тарировочные кривые для каждого диапазона при помощи соответствующих стандартов. Испытывают по крайней мере один стандарт в каждом используемом диапазоне, добиваясь от измерителя мутности стабильных результатов во всех диапазонах чувствительности. Перед проведением анализа пробу интенсивно встряхивают. Снятие показаний всегда производится через один и тот же промежуток времени, который требуется для того, чтобы проба стала однородной (например, 10 секунд), что гарантирует единообразие результатов. Важно быстро вылить пробу и три раза выполнить измерение мутности.

Характеристика каждого прибора для измерения мутности зависит от частоты тарирования по стандартному раствору формазина и от способа подготовки пробы. Как правило, нефелометры, используемые в лабораторных условиях, должны давать точность в пределах ± 1 ЕМФ (единица мутности формазина) в диапазоне 0–10 ЕМФ и ± 5 ЕМФ в диапазоне 0–100 ЕМФ при 95 % доверительном уровне. Точность абсорбциометров существенно колеблется, но должна составлять, по меньшей мере, 10 % для любого данного диапазона мутности.

При практическом использовании прибора для измерения мутности его характеристика зависит, в большей мере, от оптической конфигурации, а для

приборов, измеряющих мутность проточных вод с непрерывной записью, их характеристика зависит от способности выдерживать загрязнение оптических поверхностей водорослями и отложениями наносов, которые влияют на тарировку и чувствительность.

7.5.2.6 Измерение цвета воды

Истинный цвет наблюдается после фильтрации или очистки на центрифуге. Цвет определяется присутствием в воде ионов металлов, гумуса и торфяных материалов, планктона и промышленных стоков. Цвет является важной характеристикой воды для питьевых нужд, мытья и обработки, а также для рекреационных целей.

Исходному цвету природной воды может соответствовать смесь хлороплатиновой кислоты и гексагидрата хлорида кобальта. Но поскольку этот способ сравнения не очень удобен для полевых условий, цвет определяют визуально, сравнивая стандартные цветные стеклянные диски с цветом отобранной пробы.

Вода, смешанная с промышленными отходами, может так сильно отличаться от платиново-кобальтовой смеси, что сравнение выполнить невозможно. В этих случаях используют фотометр с фильтром или, при обработке пробы в лаборатории, — двухлучевой спектрофотометр.

7.5.2.7 Измерение прозрачности

Прозрачность воды определяется ее цветом и мутностью. Значение прозрачности представляет собой глубину в метрах, на которой диск диаметром 20–30 см, называемый диском Секки и обычно окрашенный в виде черных и белых квадратов, становится невидимым при медленном, вертикальном погружении в воду. Иногда вместо диска применяют вид стандартной раскраски на белой бумаге. Эти измерения обычно проводятся на озерах и других глубоких водных объектах и полезны для оценки биологических условий.

7.5.2.8 Общие резюме полевых измерений

Несмотря на заинтересованность в измерении тех или иных параметров, на всех станциях должны выполняться стандартные работы. На каждой станции следует придерживаться следующих основных процедур:

- тарировать измерительные устройства;
- стандартизировать тиосульфат натрия при применении метода Винклера для измерения растворенного кислорода;
- выполнять полевые измерения или измерения на месте рН, электропроводимости, растворенного кислорода, температуры и мутности;

- ополаскивать все емкости водой для пробы, за исключением бутылей с консервантом, и используемых для измерения растворенного кислорода и бактериального анализа;
- отбирать и консервировать пробы в соответствии с инструкцией по наставлению;
- правильно заполнять полевые бланки в соответствии с инструкцией по наставлению;
- упаковывать емкости для проб в специальные контейнеры;
- помечать тару и заполнять полевые бланки, записывая всю необходимую информацию.

7.6

БИОМОНИТОРИНГ И ОТБОР ПРОБ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Мониторинг окружающей среды в основном базируется на методах физико-химического анализа, используемых для оценки концентрации загрязняющих веществ, осадков и живущих в воде организмов. Главное неудобство этих методов — недостаток информации о фактическом химическом воздействии на живые организмы. К тому же, невозможно обнаружить определенные группы токсичных загрязняющих веществ. Это происходит, потому что:

- эти молекулы влияют на живые организмы в концентрациях ниже пределов обнаружения;
- это могут быть совершенно новые молекулы;
- эволюция этих токсичных загрязняющих веществ в окружающей среде мало известна (в данном случае проблема заключается в выявлении побочных продуктов для анализа).

Таким образом, большое разнообразие потенциальных загрязняющих веществ окружающей среде делает эти методы очень дорогостоящими. Если выполненный химический анализ позволяет сделать вывод о существовании или отсутствии загрязнителя в различных частях экосистемы (вода, почва, осадок или организмы), он в любом случае недостаточен для предсказания годового влияния токсичных веществ на организм, поскольку многочисленные взаимодействия между загрязняющими веществами и загрязняющими веществами/организмами не рассматриваются. В биологический анализ можно интегрировать взаимодействия между всеми присутствующими загрязнителями, и он поможет более реалистично определить воздействие загрязняющих веществ на живущие в экосистеме организмы.

Биомониторинг — это изучение реакции всех степеней биологической организации (молекулярной, биохимической, клеточной, физиологической, гистологической, морфологической и экологической) на загрязняющие

вещества. Данное определение (McCarthy and Shugart, 1990) выделяет следующие уровни наблюдения:

- a) на внутрииндивидуальном уровне биомаркер — это биологическая реакция, обнаруженная на уровне ниже индивидуального для вещества, присутствующего в продукте окружающей среды (van Gestel and van Brummelen, 1996). Эта реакция, измеряемая в организме или в его продуктах, показывает изменение в нормальном состоянии, например изменение ферментативной активности по причине защитного процесса организма. Биомаркеры — это также особые молекулярные, биохимические, физиологические, гистологические и морфологические изменения в популяции животных и растений, наблюдаемые после воздействия на них загрязняющих веществ;
- b) на индивидуальном уровне или уровне организмов биомаркер проявляется в измерении жизнедеятельных функций биологического существа, которое, по причине его экологического своеобразия, реагирует на загрязнитель с соответствующей особой модификацией его жизнедеятельных функций (Kirschbaum and Wirth, 1997), например изменение роста беспозвоночного организма;
- c) на уровне популяций и поселений гидробиологический анализ получает интегративные данные о глобальном качестве воды. Есть биологические показатели, позволяющие исследовать все или часть видов, населяющих экосистему, и изменения их состава и структуры вследствие воздействия антропогенного фактора. Таким образом, можно определить качество классов посредством нормализованной описи определенных видов. Например, биологический индекс окружающей среды использует беспозвоночную фауну как интегратор окружающей среды; стандартизированный пробоотбор, рассматривающий разные типы ареалов расселения, отражает качество экосистемы с точки зрения присутствия или отсутствия групп фаунистических индикаторов.

На текущем этапе биологического мониторинга изучение с использованием биомаркеров касается исследования применимости новых методов в целях оценки здоровья организмов и практического применения к большим размерам методов мониторинга загрязнений. Общепринятые методы биомаркеров до сих пор ограничены, но в настоящее время исследования показывают, что уже можно обнаружить загрязненные зоны, изучая здоровье живущих там организмов. Методы, основанные на исследованиях организмов или уровня популяций, используются в сети биомониторинга. В скором времени будут разработаны методы отбора проб для микробиологических и макробиотических анализов.

Кроме того, существуют методы, относящиеся к глобальной оценке экологического потенциала реки к самоочищению. Метод определения биохимического показателя кислорода (БПК), описанный в этой главе, является наиболее широко используемым методом.

7.6.1 Микробиологический анализ

Присутствие в воде живых фекальных бактерий кишечной группы характеризует недостаточную обработку сточных вод. Всемирная организация здравоохранения требует, чтобы в питьевом водоснабжении использовалась вода, в которой полностью отсутствуют бактерии кишечной группы и особенно фекальные кишечные палочки. На заболевания людей влияет присутствие в воде и других микроорганизмов, например возбудителей холеры и тифа, сальмонеллы, а также некоторых одноклеточных организмов, вызывающих заболевания.

Для того чтобы наиболее точно отразить микробиологические условия в период отбора проб очень важно, чтобы все пробы, переданные на микробиологический анализ, отбирались как можно более стерильно.

Микробиологические пробы обычно отбирают в стерильные бутылки с широким горлом и винтовой крышкой, емкостью 200 или 500 мл, сделанные из стекла или нетоксичной пластмассы. Пластиковые емкости необходимо проверить на выделение микроскопических частиц, которые могут помешать подсчету некоторых видов бактерий. Металлические и некоторые резиновые емкости могут вызывать бактериостатический эффект. В завинчивающуюся крышку бутылки должна вставляться прокладка из силиконовой резины, выдерживающей нагревание в автоклаве. Если бутылка имеет пробку, то ее горлышко следует покрыть прочной бумагой или алюминиевой фольгой, которые необходимо закрепить с помощью бечевки или эластичного кольца.

По возможности пробы воды следует анализировать сразу же после отбора. Если немедленная обработка невозможна, хранение проб следует проводить в темном и холодном месте. Хранение в таких условиях снижает до минимума размножение и отмирание микроорганизмов в течение 30 часов после отбора пробы. Пробы нельзя замораживать. Если существует подозрение на то, что содержание тяжелых металлов в пробе, таких как медь, никель или цинк, превышает $0,01 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, то их бактериостатическое и бактерицидное влияние следует уменьшить путем добавления $0,3 \text{ мл}$ 15% раствора на 125 мл пробы изолирующего реагента, например этилендиаминтетраацетатной кислоты (EDTA) (Moser and Huibregtse, 1976). Оставшийся хлор редко встречается в природных

водах, но если присутствует, его следует удалить путем добавления 0,1 мл 10 % раствора тиосульфата натрия на каждые 125 мл пробы.

7.6.2 Макробиота

Существует несколько категорий многоклеточных видов, за которыми по ряду различных причин должен осуществляться постоянный мониторинг. Рыба, как основа водной пищевой цепочки, является показателем разнообразия условий качества воды, которое определяется ее видом и возрастом. Придонные макробеспозвоночные (организмы, живущие у дна, которые определяются стандартным ситом) являются индикатором современного загрязнения, поскольку имеют низкую подвижность и чувствительность к стрессам. Перифитон — сидячие растения, которые растут, прикрепляясь к поверхностям, или произрастают на подстилке, держась за нее, являются одним из основных производителей водной органики, особенно на мелководьях. Макрофиты — крупные растения, часто с корневой системой, которые покрывают большую часть мелководий и могут препятствовать судоходству и рекреационному использованию водоемов. Планктон — мелкие, свободно плавающие растения и животные. Фитопланктон — главным образом водоросли, рост которых является косвенным показателем концентрации химических питательных веществ. Зоопланктон обитает на всех глубинах, как в проточной, так и в стоячей воде.

Многие из этих организмов могут затруднять обработку воды. Например, водоросли засоряют фильтры, поглощают избыток хлора, плохо влияют на запах и вкус воды, а некоторые даже токсичны. Часть видов может стать переносчиком болезнетворных организмов, таких как улитки, которые переносят личинки подкожных червей.

Рыбу можно добывать активными способами с помощью невода, трала, электроснастей, химикатами, а также на удочку или пассивными с помощью глубоководной сетки, обычной сети, мережи и ловушек. Макробеспозвоночные могут отбираться различными способами, в зависимости от их среды обитания и других параметров. Кроме сетей используют многопластинчатые пробоотборники и корзинчатые пробоотборники. Их оставляют на определенном месте в течение 4–8 недель подвешенными на поплавках, а затем осторожно поднимают на поверхность при помощи специальной сетки, расположенной под ними.

Планктон можно отбирать при помощи пробоотборников, описанных в разделе 7.3. Также существуют и специальные пробоотборники, например ловушка планктона Жудай, которая забирает около 5 литров на заданной глубине и отфильтровывает планктон. Этот

способ более дорогой и с лодки его использовать затруднительно. Зоопланктон требует либо отбора большого объема пробы, либо можно использовать мерную нейлоновую сеть. Перифитон может отбираться путем установки якорей или плавающих рамок в месте отбора пробы, по крайней мере, за две недели.

Для макрофитов на мелководьях используют садовые грабли, а на глубинах можно применять драги. При работе с лодки используют шест с ножом или захватным механизмом на конце. Для некоторых целей может быть полезным использование под водой аппаратов искусственного дыхания.

Рекомендуется перед анализом добавлять в пробы специальные красящие вещества, например бенгальский розовый. В последнее время законсервированные живые организмы могут быть определены даже персоналом без особой специальной подготовки, поскольку краситель делает их очень заметными на цветном фоне. Перечень методов, рекомендуемых для консервации образцов макробиоты, приведен в таблице I.7.1. Некоторые практические специалисты для перифитонов и планктона предпочитают формальдегиду раствор люголя.

7.6.3 Биохимическая потребность в кислороде

Сброс загрязняющих органических веществ в водные объекты приводит к естественной очистке воды в результате процесса биохимического окисления. Биохимическое окисление является микробиологическим процессом, в котором загрязняющие вещества используются как источник углерода и растворенный в воде кислород потребляется микроорганизмами. Скорость очистки зависит от многих условий, в том числе от температуры воды и природы органического вещества. Количество растворенного кислорода, поглощаемое определенным объемом воды в процессе биохимического окисления в течение пяти дней при температуре 20 °C, является мерой качества воды и называется биохимической потребностью в кислороде, или БПК. Процесс окисления не завершается по истечении пяти суток, поэтому для некоторых целей могут использоваться более длительные инкубационные периоды. Принятый период может указываться индексом, например БПК₅ или БПК₂₀, а биохимическая потребность в кислороде выражается в миллиграммах кислорода на литр воды.

БПК определяется как общее количество кислорода, необходимое микроорганизмам для окислительного разложения органического вещества. Скорость биохимического окисления пропорциональна количеству органического вещества, сохраняющемуся в воде еще в неокисленном состоянии. Таким образом показатель

Таблица I.7.1. Общепринятые методы консервации проб

Биологический анализ. Биологические параметры обычно определяются количественно и иногда изменяются от одного биологического вида к другому. Поэтому невозможно составить полный перечень мер предосторожностей, которые следует соблюдать при консервации проб для данного вида анализа. Информация, приведенная ниже, относится только к определенным обычно исследуемым параметрам для различных животных и растительных групп. Следует отметить, что перед выполнением любого детального исследования важно выбрать параметры, представляющие наибольший интерес.

1	2	3	4	5	6
<i>Подсчет и определение</i>					
Природные беспозвоночные	Пластик или стекло	Добавление этанола	Лаборатория	1 год	Этот анализ желательно выполнять как можно быстрее
Рыба	Пластик или стекло	Добавление на литр 10 % формальдегида, 3 г декагидрата бористого натрия и 50 мл глицерина	Лаборатория	1 год	
Макрофиты	Пластик или стекло	Добавление 5 % формальдегида	Лаборатория		
Перифитон	Пластик или светонепроницаемое стекло	Добавление 5 % нейтрального формальдегида и хранение в темноте	Лаборатория	1 год	
Фитопланктон	Пластик или светонепроницаемое стекло	Добавление 5 % нейтрального формальдегида и хранение в темноте	Лаборатория	6 месяцев	
Зоопланктон	Пластик или стекло	Добавление 5 % формальдегида или раствора люголя	Лаборатория		
<i>Чистая сухая масса</i>					
Природные беспозвоночные					Не замораживать до -20 °C
Макрофиты	Пластик или стекло	Охлаждение до 2–5 °C	На месте или в лаборатории	24 часа	Этот анализ должен выполняться как можно быстрее и не позднее 24 часов
Перифитон Фитопланктон Зоопланктон Рыба			На месте		
<i>Масса золы</i>					
Природные беспозвоночные		Фильтрация и охлаждение до 2–5 °C	Лаборатория	6 месяцев	
Макрофиты	Пластик или стекло	Заморозка до -20 °C	Лаборатория	6 месяцев	Этот анализ желательно выполнять как можно быстрее и в любом случае в течение 24 часов
Перифитон		Заморозка до -20 °C	Лаборатория	6 месяцев	
Фитопланктон		Фильтрация и заморозка до -20 °C	Лаборатория	6 месяцев	
<i>Калориметрия</i>					
Природные беспозвоночные	Пластик или стекло	Охлаждение до 2–5 °C, затем фильтрация и хранение в сушильном шкафу	Лаборатория	24 часа	Период консервации зависит от метода анализа
Фитопланктон					
Зоопланктон					
<i>Тесты на токсичность</i>	Пластик или стекло	Охлаждение до 2–5 °C Заморозка до -20 °C	Лаборатория Лаборатория	36 часов 36 часов	

БПК используется для оценки величины и скорости процесса раскисления, происходящего в водном источнике или озере, в которые поступают органические вещества. Но, кроме поступления органических веществ, на процесс раскисления могут оказывать влияние и другие факторы, не учитываемые при определении БПК. Например, взвешенный органический материал может оседать на дно реки и медленно перемещаться вниз по течению от места сброса, и уже в сравнительно отдаленных местах оказывать влияние на содержание растворенного кислорода. Присутствие бентоса, корней растений и планктона также влияет на режим растворенного кислорода.

Серьезные осложнения в определении БПК возникают из-за присутствия в воде нитрифицирующих бактерий, которые будут окислять аммиак и органические соединения азота в нитриты и нитраты.

Промышленные стоки также могут создавать трудности из-за потенциально высоких концентраций загрязняющих веществ, которые в естественных условиях могут сдерживать биохимическое окисление в принимающих водах. При таких обстоятельствах проба может нуждаться в разбавлении чистой водой и в посеве добавки из канализационных вод, которые содержат активные микроорганизмы, необходимые для начала процесса биохимического окисления. Могут разрабатываться специальные методы приготовления проб, соответствующие этому анализу.

7.6.3.1 Методы измерения

Разработаны различные методы измерения БПК. Одним из методов, получивших наибольшее распространение, является метод разбавления, при этом манометрические методы, которые в основном используются в научно-исследовательских целях, при определенных обстоятельствах могут иметь ряд преимуществ, например для контроля канализационных стоков. В идеальных условиях анализ пробы должен проводиться сразу же после ее отбора из стока, водного потока или озера. В случаях задержки анализа проба должна храниться при температуре 3–4 °C, чтобы замедлить процессы биохимического окисления. Если полученное значение БПК пробы больше чем 7 мг·л⁻¹, то необходимо произвести соответствующее разбавление и/или посев пробы. Избыток растворенного кислорода в пробе при окончании анализа является действительной величиной БПК.

БПК вычисляется по измерению объемного разбавления пробы и разницей между содержанием растворенного кислорода в пробе (раздел 7.5.2.3) до поступления и по истечении пятидневного инкубационного периода. В течение этого периода поддерживается температура в 20 °C, и атмосферный кислород должен

быть исключен из пробы, которая для уменьшения эффекта фотосинтеза содержится в темноте. Однако необходимо включить в анализ кислород, поглощенный водорослями. В пробы, в которых может проявиться нитрификация и исказить результат, до начала инкубации добавляется аллилтиомочевина (ATU). В этом случае полученная величина БПК характеризует только карбонатные загрязняющие вещества. Скорость биохимического окисления можно оценить, анализируя пять идентичных проб БПК в течение 5-дневного инкубационного периода: в первый день измеряют БПК первой пробы, во второй — второй пробы и т. д. График значений логарифмов, полученных БПК и времени, обычно представляет собой прямую линию. Экстраполяция этой прямой до предельного времени дает точную оценку БПК карбонатных веществ, которая является мерой общего количества кислорода, необходимого для окисления разложившегося органического материала.

7.6.3.2 Точность измерения

Показатель БПК по своей природе является довольно неточным. Для увеличения статистической надежности результатов следует определять среднее значение БПК по результатам анализа нескольких одинаковых проб, проведенного в идентичных условиях (одинаковые разбавления, продолжительность инкубации и посевы, если требуются). Для достижения более высокой точности анализа предложено заменить метод разбавления манометрическим методом. Следует иметь в виду, что эти два метода не всегда дают сравнимые результаты (Montgomery, 1967). При помощи манометрического метода можно получить показания биологической окисляемости менее чем за 5 дней.

7.7 ФИЛЬТРАЦИЯ И СПОСОБЫ КОНСЕРВАЦИИ ПРОБ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

7.7.1 Фильтрация

Фильтрация пробы рекомендуется для отделения растворенных веществ от взвешенных частиц. Фильтрация при помощи центрифуги требует большого количества дополнительного оборудования, а фильтрация путем осаждения — большого времени. Оба способа трудно калибруются и могут увеличить вероятность загрязнения пробы. В полевых условиях фильтрацию следует выполнять во время или непосредственно после отбора проб и заканчивать соответствующим процессом консервации.

Общую концентрацию металлов можно определить при помощи параллельного отбора второй,

нефильтруемой пробы. В лаборатории эту пробу подвергнут специальной обработке, чтобы преобразовать металлы в соединения, растворимые в воде.

Пробы, взятые для анализа на органические компоненты, фильтруются непосредственно после отбора при помощи стекловолнистого фильтра или металлической мембраны. Отфильтрованный раствор можно анализировать на растворенные органические компоненты, а фракции на фильтре — на органические частицы.

Серьезная проблема может возникнуть из-за поглощения фильтрующим материалом растворенных веществ.

Для решения этой проблемы существует множество предложений в отношении того, какие материалы лучше использовать, например органические фильтры (поликарбонатные, ацетатно-целлюлозные или сделанные из тефлона) для минеральных веществ, а фильтры из стекловолни для органических соединений.

Фильтры и фильтрационный прибор требуют предварительной обработки в лаборатории, а перед фильтрацией их следует промыть частью отобранной пробы, объемом около 150–200 мл. Для создания давления в фильтрационном приборе следует использовать ручной или электрический насос. При использовании электронасоса для фильтрации потребуется подключение к электросети или переносному источнику питания. Создание вакуума может привести к изменению величины pH в результате потери двуокиси углерода, а также к осаждению некоторых металлов. По этой причине и для снижения потерь за счет адсорбции на стенках сосуда, пробы на металлы часто окисляют.

7.7.2 Способы консервации

За время между отбором пробы и ее анализом в лаборатории могут произойти физические, химические и биохимические изменения. Во многих случаях это время нужно сократить до минимума или прибегнуть к консервации пробы.

Для некоторых компонентов консервация невозможна, и измерения должны проводиться в полевых условиях. Даже если определяемый элемент довольно стабилен, обычно пробы все равно следует законсервировать. Это выполняется различными способами, например, сохраняя пробы в темном месте, добавляя химические консерванты, снижая температуру для замедления реакций, замораживая пробу, путем приготовления экстрактов с различными растворителями, применяя полевую колонковую хроматографию.

7.7.2.1 Емкости для проб

Применение соответствующих емкостей очень важно при консервации для сохранения целостности пробы. Технические характеристики этих емкостей обычно обеспечивает аналитическая лаборатория. Рекомендации по выбору емкости, в зависимости от исследуемого компонента, содержатся во многих публикациях (Clark and Fritz, 1997).

Существуют два основных вида емкостей — пластиковые и стеклянные. Боросиликатное стекло инертно по отношению к большинству материалов и рекомендуется, когда требуется стеклянная емкость, например при отборе проб на органические компоненты. Полиэтиленовые емкости являются довольно дешевыми и гораздо меньше поглощают ионы металлов. Их применяют для проб, которые предстоит проанализировать на неорганические компоненты. Полиэтиленовые емкости нельзя использовать для отбора проб на органику, например на пестициды и некоторые летучие вещества, которые рассеиваются через пластиковые стенки. Для светочувствительных проб нужна светонепроницаемая или непроницаемая для ультрафиолета стеклянная посуда. Для растворенных газов используют бутылки с узким горлом и коническими стеклянными пробками. Емкости для микробиологических проб должны выдерживать стерилизацию в автоклаве или с помощью этилового спирта.

Для отслеживания элементов должен использоваться только низко или высокоплотный полиэтилен (НППЭ и ВППЭ). На сегодняшний день доступны одноразовые емкости. Перед использованием они должны быть обеззаражены. Они должны содержаться, по крайней мере, 24 часа в сверхчистом 10 % растворе HNO_3 , потом промыты дистиллированной водой (18,2 MΩ) и сохранены в полиэтиленовых пакетах до их использования в поле (Pearce, 1991).

Крышки для бутылей являются потенциальным источником проблем. Стеклянные пробки могут залипать, особенно при щелочных пробах. Прокладки под крышки, сделанные не из тефлона, могут стать источником искусственных загрязнителей или абсорбировать незначительное количество пробы. Чем меньше концентрация определяемого компонента, тем более важными становятся вышеупомянутые проблемы.

7.7.2.2 Добавление химических веществ

Этот способ применяется для большинства растворенных металлов и кислотных гербицидов. Некоторые пробы на биологический анализ также требуют химической консервации.

Как правило, предпочтительней использовать относительно концентрированный раствор консерванта. В этом случае корректировка пробы на разбавление консервантом будет совсем незначительной.

Потенциальные сложности для анализа, которые создает консервант, требуют четкого следования методике. Например, кислота может нарушить распределение взвешенных материалов и вызвать растворение металлов, находящихся в пробе, либо в коллоидной форме, либо в виде твердых частиц. Поэтому очень важно соблюдать следующий порядок — вначале производится фильтрация, а затем — добавление кислоты.

7.7.2.3 Замораживание

Когда анализ невозможен в разумные сроки, рекомендовано замораживание для анализа главных анионов, т. е. хлорида, сульфата и нитратов. Однако его применяют для определенных видов анализа, а не в качестве обычной процедуры консервации, поскольку оно может вызвать физико-химические изменения пробы, например образование осадка и улетучивание растворенных газов, что может повлиять на состав пробы. Кроме того, твердые частицы, находящиеся в пробе, при замораживании и оттаивании изменяются, а необходимым условием для любого анализа может быть возврат в состояние равновесия, за которым следует быстрая гомогенизация. Никогда нельзя замораживать пробы воды в стеклянной посуде.

7.7.2.4 Охлаждение

Охлаждение до 4 °C или до появления льда является обычным способом консервации. В отдельных случаях охлаждение может повлиять на растворимость некоторых веществ и привести к их осаждению. Охлаждение часто используют совместно с добавлением консервантов.

7.7.2.5 Практические аспекты консервации

Важным практическим аспектом консервации является определенный последовательный порядок действий, обеспечивающий гарантии того, что все пробы, требующие консервации, незамедлительно получают необходимую обработку. Это особенно важно при добавлении химического консерванта, поскольку такая добавка может привести к трудноопределяемым изменениям в характере пробы. Целесообразно отмечать все законсервированные пробы, чтобы гарантировать их от повторной обработки.

Безопасность и точность добавления химических консервантов в полевых условиях требует соблюдения специальных мер предосторожности. Заранее

откалиброванные и автоматические пипетки обеспечивают в полевых условиях точность добавления консерванта и устраняют опасность случайного проливания кислоты из пипетки. Зачастую бывает удобным добавить консервант в емкость для проб непосредственно в лаборатории, перед выездом в поле. Другая возможность заключается в использовании цветовой кода или в наклеивании бирки на запечатанные пузырьки, с заранее измеренным объемом консерванта. Несмотря на то что этот способ является более дорогим, он имеет преимущество из-за простоты полевой процедуры консервации, снижения вероятности ошибки и внесения загрязнителей.

7.8

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Дистанционное обнаружение позволяет характеризовать пространственные и временные изменения, получаемые другими методами. Однако оно не очень точно относительно локальных наземных измерений. Кроме того, оно должно сопровождаться спутниковыми данными для интерпретации изображений в отношении качества воды и почвы. Использование дистанционного зондирования для оценки взвешенных наносов обсуждалось ранее в главе 5. В данном разделе представлена более подробная информация о таких вариантах применения, как характеристика растительности, соленость и температура воды.

Спутники могут быть двух типов в зависимости от их источника энергии. Пассивным спутникам требуется солнечный свет, чтобы фиксировать изображения объектов на поверхности Земли. Они обычно работают в видимом или инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра и поставляют так называемые «оптические» изображения. Активные спутники имеют собственный источник энергии. Они работают в микроволновом диапазоне электромагнитного спектра и позволяют получить так называемые «радарные» изображения.

Кроме того, спутниковые изображения могут быть разделены в соответствии с четырьмя базовыми критериями:

- а) протяженность участка на поверхности Земли, соответствующая размеру пикселя (пространственное разрешение). Изображения бывают с низким пространственным разрешением (1 км или больше, такие как изображения растительности или метеорологические изображения, получаемые со спутников НУОА и СПОТ), со средним разрешением (20 м или больше, такие как изображения

МСС и ТМ со спутника Ландсат или изображения СПОТ 1 – СПОТ 4) или очень высоким (10 м или меньше, такие как СПОТ 5 или IKONOS);

- b) диапазон излучения, соответствующий длине волны, при помощи которого были сделаны изображения;
- c) частота прохождения спутника;
- d) радиометрическая селекция, соответствующая способности детектора улавливать отраженное радиоизлучение.

Выбор спутникового изображения определяется многими факторами. Во-первых, необходимо учитывать размер изучаемой площади. Невозможно изучить болото площадью 20 км² с помощью снимка, сделанного спутником НУОА с низким разрешением. Выбор диапазона также должен соответствовать задачам программы. Например, оптическое изображение рекомендуется для изучения мутности воды. К тому же, требуется выравнивание между временными переменными изучаемого явления и частотой прохода спутника над изучаемой территорией.

7.8.1 Изучение качества воды в видимом и инфракрасном диапазонах

От видимого диапазона спектра до ближнего инфракрасного радиометрическая реакция чистой воды такая же, как черного тела, поглощающего всю радиацию. Это хорошо известное свойство используется для определения присутствия воды по спутниковому снимку.

Различные факторы, такие как соленость воды и мутность, состав почвы или присутствие растительности, изменяют радиометрическую реакцию воды, которая, в свою очередь, может быть использована для характеристики этих факторов.

Лучшая положительная корреляция между радиометрической реакцией и мутностью находится в зеленой зоне (Bonn, 1993). Это может косвенно указывать на соленость. На самом деле, соленость и мутность обычно обратно пропорциональны. Когда соленость поднимается, результатом этого является хлопьеобразование, за которым следует осаждение взвешенных веществ и понижение мутности воды.

Радиометрическая реакция в ближнем инфракрасном диапазоне может быть нарушена взвешенными частицами и неглубоким дном (Chuviesco, 2000). На неглубоких водах абсорбция маленькая и отражение высокое (из-за высокой отражательной способности дна). Однако это сложный эффект, поскольку радиометрическое поведение почвы подвержено влиянию химического состава, текстуры, структуры и влаж-

ности. Поэтому глинистая почва, например, будет обладать низкой отражательной способностью по сравнению с песчаной. Диапазон отражения почвы очень широк между светлыми почвами (песок, известняк и даже гипс), которые сильно отражают солнечную радиацию, и темными (глина, богатая органическими соединениями), которые поглощают почти весь объем радиации (Bonn and Rochon, 1993).

В радиометрическом диапазоне отражательная способность растительности понижается в видимом спектре, но она очень высока в ближнем инфракрасном диапазоне. Что касается растительности, ее слабый отклик на излучение в видимом диапазоне спектра является результатом сильной абсорбции хлорофилла, особенно в красной зоне, в то время как сильный отклик в ближнем инфракрасном диапазоне объясняется внутренней структурой листьев. Таким образом, для того чтобы изучить присутствие растительности в неглубоких водах, рекомендуется использовать оптические изображения (Shutko, 1986, 1990; Gross and others, 1987).

Оценка количества хлорофилла в океане и устьях проводится при помощи разных снимков, особенно изображений, полученных со сканирующего радиометра для получения цветowych изображений прибрежных зон (СРПЗ), или изображений с усовершенствованного радиометра очень высокого разрешения (УРОВР) (WMO, 1993). Такой способ оценки имеет ограничения в случаях, когда концентрация взвешенных веществ достаточно низка для того, чтобы не маскировать отражение, соответствующее отражению уровня хлорофилла (Ritchie and others, 1992). Макрофиты и водная растительность может обычно изучаться по этим базовым принципам (Ackleson and Klemas, 1987).

7.8.2 Изучение качества воды в микроволновой части спектра

В воде микроволновая часть спектра обладает особой проникаемостью. Можно внешне различить неровную или гладкую поверхности — по ламбертовому или симметричному отражению соответственно. Например, изображение с радара может быть использовано в случае, если неровность поверхности воды обусловлена присутствием волн. Это свойство также используется для определения аномалий поверхности, таких как выброс нефти. Теоретически и практически доказано, что микроволновая радиометрия может быть использована для изучения солености и общей минерализации воды (Shutko, 1985, 1986, 1987). На самом деле, микроволновое излучение чувствительно к вариациям электропроводности и, следовательно, составу воды.

Дистанционное зондирование в тепловом инфракрасном диапазоне может быть использовано для оценки поверхностной температуры воды (примеры в Engman and Gurney, 1991). Микроволновая радиация менее чувствительна к атмосферным условиям и потому более часто используется, но ее разрешение является приблизительным по сравнению с разрешением в инфракрасном диапазоне (Shutko, 1985, 1986).

Ссылки и дополнительная литература

- Ackleson, S.G. and V. Klemas, 1987: Remote sensing of submerged aquatic vegetation in Lower Chesapeake Bay: A comparison of Landsat MSS to TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, Volume 22, pp. 235–248.
- American Public Health Association and American Water Works Association, 1999: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Twentieth edition, Washington DC, CD-ROM.
- Bonn F., 1993: *Précis de Télédétection*. Volume 2: Applications thématiques, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, Québec.
- Bonn F. and G. Rochon, 1993: *Précis de Télédétection*. Volume 1: Principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, Québec.
- Chuvieco E., 2000: *Fundamentos de la Teledetección Espacial*, Third edition, Ediciones RIALP, Madrid.
- Clark, I. and P. Fritz, 1997: *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Engman, E.T. and R.J. Gurney, 1991: *Remote Sensing in Hydrology*. Chapman and Hall, London.
- Genin B., C. Chauvin and F. Ménard, 1997: *Cours d'eau et indices biologiques: Pollutions, Méthodes, IBGN*. Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique, Centre National d'Etudes et de Ressources en Technologies Avancées, Dijon (CD-ROM also available).
- Gross, M.F., M.A. Hardisky, V. Klemas and P.L. Wolf, 1987: Quantification of biomass of the marsh grass *Spartina alterniflora* Loisel using Landsat Thematic Mapper imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 53, pp. 1577–1583.
- International Atomic Energy Agency, 2004: *Quantifying Uncertainty in Nuclear Analytical Measurements*. TECDOC-1401, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Kirschbaum, U. and V. Wirth, 1997: *Les Lichens Bio-indicateurs*. Ulmer, Stuttgart.
- McCarthy J.F. and L.R. Shugart (eds), 1990: *Biomarkers of Environmental Contamination*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Montgomery, H.A.C., 1967: The determination of biochemical oxygen demand by respirometric methods. *Water Research*, Volume 1.
- Mook, W.G. (ed.), 2000: *Environmental Isotopes in The Hydrological Cycle: Principles and applications*. IHP-V, Technical Documents in Hydrology No. 39, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and International Atomic Energy Agency Publication (<http://www.hydrology.nl/ihppublications/149-environmental-isotopes-in-the-hydrological-cycle-principles-and-applications.html>).
- Moser, J.H. and K.R. Huibregtse, 1976: *Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater*. EPA600/4-76-049, Environmental Monitoring and Support Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, Section 11.3.2.
- Pearce, F.M., 1991: The use of ICP-MS for the analysis of natural waters and evaluation of sampling techniques. *Environmental Geochemistry and Health*, Volume 13, No. 2, pp. 51–55.
- Ritchie, J.C., F.R. Schiebe, C.M. Cooper and J.A. Harrington, Jr, 1992: Landsat MSS studies of chlorophyll in sediment dominated lakes. *Proceedings of the 1992 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 1992)*, Volume 2, Clear Lake City, Texas, pp. 1514–1517.
- Shutko, A.M., 1985: Radiometry for farmers. *Science in the USSR*, Volume 6, pp. 97–113.
- Shutko, A.M., 1986: *Microwave Radiometry of Water Surface and Grounds*, Nauka, Moscow (English translation).
- Shutko, A.M., 1987: Remote sensing of waters and land via microwave radiometry: the principles of method, problems feasible for solving, economic use. *Proceedings of Study Week on Remote Sensing and its Impact on Developing Countries*, Pontificia Academia Scientiarum, Scripta Varia-68, Vatican City, pp. 413–441.
- Shutko, A.M., 1990: Offer on hardware, software and services on survey of soil, vegetation and water areas — from aircraft. Institute of Geoinformatics, Nongovernmental Center for Research and Institute of Radio Engineering and Electronics, Academy of Sciences, Fossil Fuel Institute, Moscow.
- United Nations Environment Programme, World Health Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and World Meteorological Organization, 1992: *Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Operational Guide*. Inland Waters Directorate, Burlington, Ontario.
- United States Geological Survey, 1984: *National Handbook of Recommended Methods for Water Data Acquisition*. Chapter 5: Chemical and physical quality of water and sediments, Reston, Virginia.
- Van Gestel, C.A.M. and T.C. van Brummelen, 1996: Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. *Ecotoxicology*, Volume 5, pp. 217–225.
- World Meteorological Organization, 1988: *Manual on Water Quality Monitoring: Planning and Implementation of Sampling and Field Testing*. Operational Hydrology Report No. 27, WMO-No. 680, Geneva.
- World Meteorological Organization, 1993: *Executive Council Panel of Experts on Satellite: Final Report*. 9-10 March, Geneva.