



МЕТОДИЧЕСКОЕ  
ПОСОБИЕ

2011

Supported by:



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

based on a decision of the Parliament  
of the Federal Republic of Germany



GERMANY'S  
CLIMATE  
INITIATIVE



П. А. Торопов, Б. А. Терентьев

# Гидрометеорологический мониторинг в экосистемах ООПТ Алтае-Саянского экорегиона

Методическое пособие



Проект ПРООН / ГЭФ / МКИ  
СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ  
АЛТАЕ-САЯНСКОГО ЭКОРЕГИОНА

П. А. Торопов, Б. А. Терентьев

**Гидрометеорологический мониторинг  
в экосистемах ООПТ  
Алтае-Саянского экорегиона**

**Методическое пособие**

WWF России

Москва • 2011

Авторы:

*П. А. Торопов, Б. А. Терентьев*

Рецензенты:

к. г. н. *Н. Л. Фролова*, к. г. н. *Г. В. Суркова*

### **Гидрометеорологический мониторинг в экосистемах ООПТ**

#### **Алтае-Саянского экорегиона. Методическое пособие /**

*Торопов П. А., Терентьев Б. А.*; Всемирный фонд дикой природы (WWF России).

Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона» – М., 2011. – 132 с.

В пособии излагаются основные принципы стандартных гидрометеорологических наблюдений, рекомендованных Всемирной метеорологической организацией и Росгидрометом. Особое внимание уделяется наблюдениям в горных районах: приводится описание оборудования, которое можно наиболее эффективно использовать для измерений в горах, даются общие рекомендации по выбору местоположений для точек метеорологических и гидрологических наблюдений. Кроме того, рассматриваются некоторые методы первичной обработки гидрометеорологической информации.

Пособие предназначено для работников особо охраняемых природных территорий, участников научно-исследовательских эколого-географических экспедиций. Данное пособие может быть использовано в качестве учебного студентами, обучающимися по специальностям «география», «геоэкология», «метеорология», «гидрометеорология», «гидрология».

Авторы благодарят *Д. Л. Луговую* (WWF России) и *Т. В. Яшину* (Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона») за активную поддержку в подготовке данного издания.

Редактор: *Е. А. Воронкова*

Дизайн, верстка: *А. Ю. Филиппов*

Фотографии на обложке: © *Виктория Элиас* / WWF России

Издание осуществлено при финансовой поддержке проекта ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона».

Программа Развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) является глобальной сетью ООН в области развития, выступающей за позитивные изменения в жизни людей путем предоставления доступа к источникам знаний, опыта и ресурсов.

Мнение авторов публикации не обязательно отражает точку зрения, заявляемую в ПРООН, в учреждениях системы ООН и организациях, сотрудниками которых являются авторы.

Издание является некоммерческим и распространяется бесплатно.

© UNDP 2011

© WWF 2011

Все права защищены

# Содержание

<b>Введение</b>	4
<b>Глава 1. Общие принципы гидрометеорологических наблюдений</b>	7
1.1. Метеорологические наблюдения	7
1.2. Гидрологические наблюдения	44
1.3. Гляциологические наблюдения	68
<b>Глава 2. Автоматическое оборудование для полевых гидрометеорологических наблюдений</b>	70
2.1. Использование автоматических метеостанций	70
2.2. Система удаленного мониторинга НОВО-U30-NRC-10-S100-00	78
<b>Глава 3. Гидрометеорологические наблюдения на территории Алтае-Саянского экорегиона</b>	95
3.1. Краткая физико-географическая и климатическая характеристика Алтае-Саянского экорегиона	95
3.2. Рекомендации по установке автоматических станций на территории АСЭ	110
3.3. Первичная обработка данных наблюдений	118
<b>Литература</b>	129
<b>Приложения</b>	131

## Введение

**Мониторинг** – это систематический сбор количественной и качественной информации о параметрах исследуемого объекта, ее первичная обработка и анализ, а также оценка и прогнозирование изменений свойств этого объекта. В принципе термин «мониторинг» можно заменить словосочетанием «систематические исследования». Однако под мониторингом обычно понимается сбор информации, которая используется в процессе принятия решения, а также для информирования общественности об изменении свойств наблюдаемого объекта. Только лишь получение данных об объекте, например с научно-исследовательскими целями, нельзя назвать мониторингом.

**Гидрометеорологический мониторинг** – это оперативная система сбора и первичной обработки информации о состоянии воздуха, водных объектов и ледников через строго определенные временные интервалы, а также ее передачи по каналам связи (теле-, радиокommunikации, Интернет) и представление в удобном для потребителя виде. В этом смысле работа таких государственных структур, как Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное агентство водных ресурсов, Федеральное агентство по недропользованию, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, сводится к мониторингу атмосферы и гидросферы, однако лишь в том случае, если не только их подразделения, но и органы власти получают информацию о состоянии природной среды, которая используется для принятия тех или иных решений. Рост числа природных и техногенных катастроф в последние годы свидетельствует о необходимости развития систем мониторинга. Так, практически во всех крупных европейских городах осуществляется мониторинг экологического состояния воздуха и водных объектов. Широкое применение нашел спутниковый мониторинг – оперативное слежение за природными явлениями (лесные пожары, распространение загрязняющих веществ в морях и океанах и т.д.). Использование такого рода систем позволяет принимать эффективные решения в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Путь к достижению баланса между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей сре-

ды, который в последнее время чаще называют устойчивым развитием, предполагает активное применение самых разнообразных систем мониторинга природной среды.

Важность гидрометеорологического мониторинга в экосистемах горных районов обусловлена рядом причин. Во-первых, в горных районах, как правило, часто повторяются опасные гидрометеорологические явления, которые наносят большой экономический ущерб и самое главное – уносят жизни людей (паводки на реках, лавины, сели и оползни). Все эти процессы являются следствием погодных явлений, в первую очередь – обильных осадков. Таким образом, оперативные наблюдения за атмосферными осадками, а также за расходом горных рек, таянием ледников, уровнем воды в горных озерах и т. д. являются необходимыми составляющими мониторинга. Во-вторых, оперативные гидрометеорологические наблюдения в таких районах служат источниками данных для численных и статистических прогнозов погоды. И, наконец, в-третьих, горные экологические регионы нередко являются охраняемыми уникальными природными объектами. Разумеется, природоохранные мероприятия, а также использование рекреационных ресурсов горных районов требуют гидрометеорологических изысканий.

Гидрометеорологические наблюдения в горах имеют свою специфику, отличную от измерений на равнинных территориях и морских акваториях. В данном пособии излагаются основные принципы гидрометеорологических наблюдений в горах и дается описание оборудования, которое можно наиболее эффективно использовать с этой целью. Кроме того, рассматриваются некоторые методы первичной обработки гидрометеорологической информации.

Материал структурирован следующим образом. Первая глава посвящена обзору проблем, связанных с гидрометеорологическими наблюдениями. Излагаются общие принципы гидрометеорологических измерений и организации гидрометеорологической сети, вводятся базовые понятия и определения метеорологических и гидрологических величин, а также основные понятия, связанные со статистической структурой метеорологических полей. Отдельно обсуждаются общие особенности гидрометеорологических наблюдений в горных условиях.

Вторая глава посвящена использованию автоматических метеостанций в полевых условиях. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны автоматизированных наблюдений, приводятся

примеры автоматических станций различных производителей, формулируются принципы выбора оборудования для тех или иных исследовательских задач. Подробно описана метеостанция НОВО, которую предполагается широко использовать для метеонаблюдений в Алтае-Саянском экорегионе.

Третья глава представляет собой рекомендации по проведению гидрометеорологических работ в Алтае-Саянском экорегионе. Приводится краткая климатическая справка, описаны основные принципы выбора точек наблюдений. По каждой из охраняемых территорий даются рекомендации по организации точек наблюдений. Также описаны простейшие методы обработки гидрометеорологической информации.

## Общие принципы гидрометеорологических наблюдений

### 1.1. Метеорологические наблюдения

#### 1.1.1. Общие понятия

*Метеорологическими наблюдениями* называют количественные измерения метеорологических величин, а также регистрацию атмосферных явлений. Метеорологические наблюдения делятся на контактные и дистанционные.

*Контактные измерения* основаны на физическом контакте приемной части прибора непосредственно с воздушной средой. К ним относятся весь комплекс измерений на метеорологических станциях, а также аэрологическое, самолетное и ракетное зондирование атмосферы.

*Дистанционные наблюдения* основаны на методах пассивной и активной локации. Пассивная локация представляет собой измерение электромагнитного излучения, исходящего от объекта. К методам пассивной локации относят все многообразие спутниковых измерений. При активной локации прибор (локатор) сам испускает электромагнитные или звуковые волны, фиксируя отраженный от объекта электромагнитный (звуковой) сигнал. К методам активной локации относятся радиолокационные, лидарные (лазерные), содарные (звуковые) наблюдения. Интенсивность излучения (в случае пассивной локации) или электромагнитного (акустического) эха (в случае активной локации) по специально разработанным физическим методикам переводится в количественные величины, характеризующие состояние объекта. Так, по данным спутниковых радиометров восстанавливается температура и влагосодержание атмосферного воздуха, температура верхней границы облачности, водность облаков, температура земной поверхности, морское волнение, альbedo земной поверхности и облаков и т. д. По данным радиолокаторов восстанавливают вертикальную мощность облаков и их водность, интенсивность выпадающих осадков, а по результатам лидарного и содарного зондирования – вертикальные профили температуры, характеристик влажности, концентраций аэрозолей и др.



К *метеорологическим величинам* относятся атмосферное давление, температура воздуха и характеристики влажности (парциальное давление, массовая доля водяного пара, отношение смеси), скорость и направление ветра, количество осадков, потоки тепла и лучистой энергии, количество облаков и высота их нижней границы, метеорологическая дальность видимости, толщина гололедных или смешанных отложений и изморози. К ним также относят величины, непосредственно не отражающие свойства атмосферы или атмосферных процессов, но тесно связанные с ними. Это температура поверхности почвы, высота снежного покрова и продолжительность его залегания, продолжительность солнечного сияния. Помимо необходимого списка метеорологических количественных величин существует еще обязательный перечень атмосферных явлений, которые также отмечаются на всех станциях ВМО. Это тип облачности, атмосферные явления (туман, метель, гроза, град, шквал, смерч, морось, роса, изморозь, гололед, туман, пыльная буря), оптические явления (гало, радуга, венец, солнечные столбы и др.). Каждый из этих элементов выражается не количественно, а качественно, т. е. по принципу «есть явление» или «нет явления». Некоторые из элементов перечисленного списка также классифицируются по простой шкале интенсивности (слабое явление, умеренное, сильное). Это относится к туману, граду, мороси, изморози, гололеду, грозе, метели и пыльной буре.

Перечисленные выше метеорологические наблюдения осуществляются на наземных метеорологических станциях и называются *наземными метеорологическими наблюдениями*. Помимо них существуют *аэрологические наблюдения*, которые представляют собой измерения основных метеорологических величин (давления, температуры, влажности, скорости и направления ветра) в свободной атмосфере на определенных, строго фиксированных вертикальных уровнях (изобарических поверхностях). Эти наблюдения необходимы для составления прогноза погоды как синоптическими, так и численными методами, а также для обслуживания авиации. Наблюдения за состоянием высоких слоев атмосферы (выше 40 км над уровнем моря) называются *аэрономическими*. К ним в первую очередь относится ракетное зондирование атмосферы. Подробнее с организацией метеорологических наблюдений можно ознакомиться в [18,21]

### **1.1.2. Метеорологические станции и метеорологическая сеть**

Метеорологическая станция – это учреждение для производства метеорологических наблюдений в месте, удовлетворяющем требованиям в отношении рельефа и других природных особенностей района, а также близости зданий, промышленных и транспортных объектов. Метеорологическая станция должна располагаться в месте, наиболее типичном для района, в котором планируется производить метеорологические наблюдения. Она состоит из метеорологической площадки, где расположены основные приборы для метеорологических наблюдений, и отапливаемого здания, где живет и работает персонал станции, устанавливаются барометры и барографы, содержится запасной инвентарь. Метеорологическая станция оборудуется стандартной для данной сети аппаратурой, с помощью которой производятся наблюдения в установленные сроки и в определенной последовательности.

Атмосфера – самая подвижная оболочка земного шара. Поэтому процессы, определяющие изменения погоды в конкретном месте, развиваются на больших пространствах. Так, например, для того чтобы дать верный прогноз погоды на Алтае на ближайшие сутки, необходима информация о погоде на территории от Уральского хребта до Енисея и от Южного Казахстана до Полярного круга. Прогноз погоды на вторые-третьи сутки расширяет эту область до гринвичского меридиана на запад и до Арктики на север. Если же речь идет о прогнозе на четвертые-пятые сутки, то уже необходима информация о погоде на всем Северном полушарии. Кроме того, результаты метеорологических наблюдений являются начальными и граничными условиями для математических моделей глобальной атмосферы, на основе которых в последние 20–30 лет в мировых метеоцентрах составляются прогнозы погоды. Все эти обстоятельства вынуждают размещать метеорологические и аэрологические станции на огромных территориях и по возможности на равном удалении друг от друга. В идеале всемирная метеорологическая сеть должна представлять собой ряд станций, равноудаленных друг от друга не более чем на 100 км – это примерно 32 500 точек наблюдений по всему земному шару. В реальности международная сеть ВМО насчитывает около 10 тыс. метеорологических и аэрологических станций. В России, как и в большинстве других стран мира, исключая небольшие государства, а также так называемые страны третьего мира, есть своя государственная метеорологическая сеть Росгидромета, в которую в настоящее время входит около 1700 стан-

ций. Программа модернизации гидрометслужбы предполагает увеличение числа станций к 2030 г. до 5400 – в основном за счет установки автоматических метеостанций.

Все гидрометеорологические станции, которые находятся на территории СНГ, классифицируются в зависимости от проводимых на них наблюдений. Выделяют метеорологические, аэрологические, береговые гидрометеорологические, судовые (дрейфующие) гидрометеорологические, ведомственные и гидрологические станции.

*Метеорологические станции* делятся на три разряда. *Станции I разряда* проводят наблюдения по полной программе и обрабатывают их данные [13], передают их по каналам связи в местные управления гидрометслужбы в установленные сроки, а также осуществляют техническое руководство работой прикрепленных к ним метеорологических станций II и III разрядов и метеорологических постов и предоставляют заинтересованным организациям, предприятиям и учреждениям сведения о метеорологических условиях и климатические данные. Часто на станциях I разряда, помимо полной программы метеорологических наблюдений, выполняется аэрологическое зондирование (тогда такая метеорологическая станция переходит в класс аэрологических, см. ниже). В том случае, если это научная метеорологическая обсерватория или станция, организованная для научной работы, обычно выполняются уникальные измерения, набор которых зависит от задач, поставленных перед обсерваторией (станцией). Это могут быть дистанционные наблюдения (лидарные, содарные, радарные, радиометрические и т. д.), химические (забор и анализ проб газов и аэрозолей), комплекс гляциологических работ (станция «Восток» в Антарктиде) и т. д. *Станции II разряда* также ведут наблюдения и осуществляют обработку данных по полной программе [13] и передают их по каналам связи в установленные сроки. Однако аэрологические наблюдения и дополнительные исследования на них не проводятся. *Станции III разряда* производят наблюдения по сокращенной программе, в меньшее число сроков. Часто они вообще не участвуют в международном обмене гидрометеорологическими данными, т. е. не передают их по каналам связи, и используются только местными службами и ведомствами (например, некоторые метеорологические станции при аэропортах).

На *аэрологических станциях*, помимо основной программы метеонаблюдений, два раза в сутки (в 0:00 и в 12:00 по единому скоордини-

рованному времени) обязательно проводят запуск радиозонда, который выполняет измерения температуры воздуха, температуры точки росы, давления, скорости и направления ветра на стандартных изобарических поверхностях. Эти данные необходимы как для численно-го, так и для синоптического анализа и прогноза погоды, поэтому они всегда передаются в региональные и центральные управления гидрометеослужбы и находятся в международном обмене в рамках ВМО.

*Береговые станции* расположены на морских побережьях. Кроме метеорологических наблюдений, перечень и полнота которых зависят от разряда станции (см. выше), на них проводятся некоторые океанологические измерения (также в зависимости от класса станции), всегда измеряется температура и уровень воды, а также качественно оценивается состояние морской поверхности и балльность волнения. На станциях-обсерваториях проводятся волновые и батиметрические наблюдения.

*Дрейфующие станции* – это судовые станции, станции, дрейфующие в морских водах, и станции, дрейфующие на морских льдах. Их объединяет одно – непостоянство местоположения, поэтому с позиций климатологии наблюдения на них бессмысленны. Однако в качестве дополнительного источника данных для анализа и прогноза погоды, а также для научно-исследовательских задач они очень ценны. Судовые станции располагаются на бортах научно-исследовательских, транспортных или военных судов. Полнота измерений зависит от задач, поставленных перед исследователями. Как правило, наблюдения ведутся по сокращенной программе. Однако, если речь идет о крупном научно-исследовательском эксперименте, даже на судах возможен полный перечень наблюдений, включая аэрологические. Большая проблема судовых наблюдений – их репрезентативность. Условия судовых наблюдений не удовлетворяют тем требованиям, которые сформулированы ВМО (см. ниже). Станции, дрейфующие в морских водах, всегда автоматические. Программа наблюдений обычно сокращена даже по сравнению с требованиями, сформулированными ВМО. Так называемые гидрометеорологические буи, как правило, измеряют температуру, характеристики влажности и ветра, а также атмосферное давление и осадки. Правда, набор океанологических наблюдений может быть очень богатым.

Станции, дрейфующие на морских льдах, выполняют обычно все возможные метеорологические и океанологические (в том числе ги-

дохимические) наблюдения, поскольку цели гидрометеорологических наблюдений в Арктике, как правило, научные.

*Морские станции* – это «заякоренные», т. е. постоянные, буи. Их стали использовать в последние годы. Однако существует проблема репрезентативности получаемых с их помощью метеорологических данных из-за воздействия морских брызг и волнения.

На *агрометеорологических станциях* проводится полный объем метеорологических наблюдений, при этом особое внимание уделяется оценке компонентов теплового баланса, наблюдению за термическим режимом почвы и снежного покрова. Кроме того, добавляется наблюдение за целым рядом количественных показателей, отражающих жизненные циклы растений, главным образом сельскохозяйственных культур. Это даты начала и конца вегетационного периода, начала и завершения цветения, кущения, и множество других показателей. Нередко агрометеорологические станции подчиняются не Росгидромету, а Министерству сельского хозяйства.

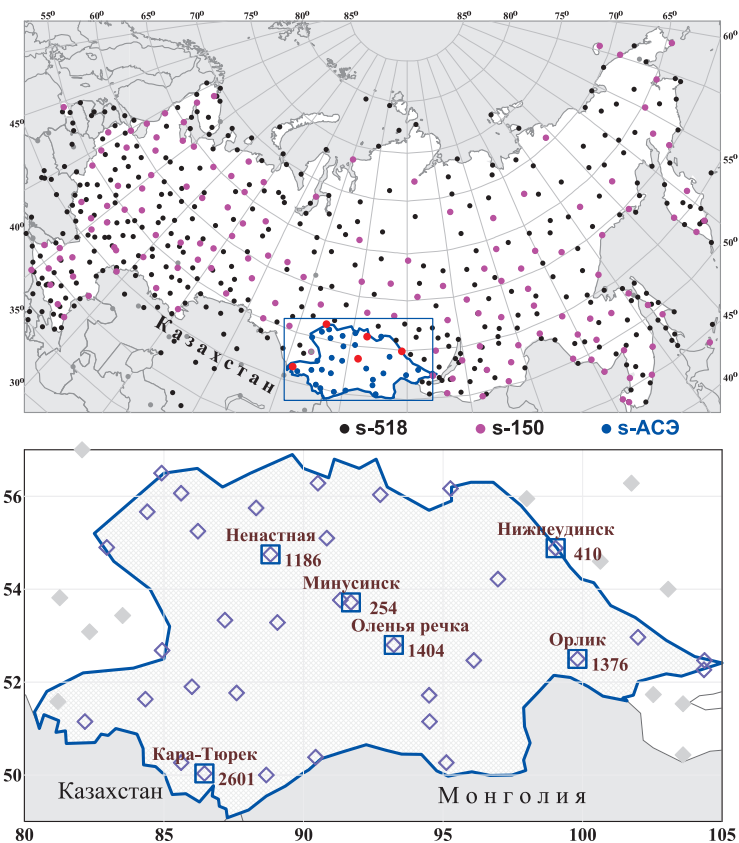
Имеются еще специализированные *ведомственные станции*, не входящие в общегосударственную сеть метеорологических станций Росгидромета. На них, помимо общепринятых наблюдений, обычно измеряются те характеристики, которые необходимы конкретной отрасли. Это агрометеорологические станции (в данном пособии они выделены в отдельную группу), метеорологические станции, обслуживающие транспортные отрасли, курорты, метеорологические станции Министерства обороны, Министерства образования, Академии наук, и т.д. Эти станции не имеют отношения к Росгидромету, и, соответственно, к ВМО, поэтому, как правило, не участвуют в «международном обмене информацией». По сути дела, помимо сети Росгидромета, на территории России существуют альтернативные сети Министерства обороны РФ, Министерства сельского хозяйства, и т. д. Также, эпизодически для научно-исследовательских или образовательных задач разворачиваются локальные сети из нескольких, как правило, автоматических метеостанций. Так делается, в частности, в научных и учебных экспедициях Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Как уже отмечалось выше, самый полный перечень метеонаблюдений не только с производственными, но и с научными целями проводится в метеорологических обсерваториях.

В состав гидрометслужбы также входят гидрологические станции, на которых проводятся, главным образом, гидрометрические измере-

ния на реках, водохранилищах, озерах, болотах, а также мониторинг лавинной обстановки в горных регионах. Подробно об этих станциях речь идет в п. 1.2.

Важнейшей проблемой любой метеорологической сети является ее пространственная неоднородность (рис. 1.1). Например, метеорологические наблюдения на европейской территории России осуществляют около 1000 станций, а в Западной Сибири, площадь которой примерно такая же, всего 400. Еще хуже дело обстоит с морскими акваториями, пустынями, арктическими и горными районами. В частности, в горах Кавказа работает всего лишь 5 метеорологических станций, в горных районах Алтая и Саян – 8 (хотя во всем Алтае-Саянском регионе действует около 30 метеостанций). Разумеется, наблюдения, которые на них осуществляются, не отражают всего многообразия метеорологических процессов в этих крайне неоднородных регионах. Именно этим обусловлена необходимость гидрометеорологического мониторинга, в частности, Алтае-Саянского региона. Вторая важная проблема метеорологических наблюдений – наличие пропусков. Без длительных и непрерывных рядов наблюдений выводы о климатических особенностях региона и о статистических свойствах климатических величин весьма ограничены, а порой и бессмысленны. Так, по рекомендациям ВМО, минимальный срок наблюдений, отражающих климат региона, должен составлять 30 лет. Причем важно, чтобы в течение 30 лет наблюдения велись непрерывно. Кризис 90-х годов привел к тому, что больше половины метеорологических станций на 10–20 лет прекратили свою работу, возобновив ее только в период 2000–2010 гг. Климатическая однородность рядов наблюдений на этих станциях уже безвозвратно потеряна. Очень важно, чтобы станции не меняли своего местоположения. Перенос станции в другую точку фактически обрывает ряд наблюдений и начинает новый. Такую же роль играют меняющиеся условия вокруг самой станции – появление городской застройки, автомагистралей, теплоцентралей и т. д. Примерно одной трети станций ВМО коснулась проблема переноса или резкого изменения условий в районе наблюдений.

Во всем мире на наземных метеорологических станциях проводятся синхронные наблюдения: в 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 по Всемирному скоординированному времени (UTC). В соответствии с этим, сроки наблюдений, записи начала и окончания атмосферных явлений указываются по UTC. Исключение составляют актинометрические измерения, которые ведутся по истинному солнечному времени.



**Рис. 1.1.** Метеорологические станции на территории России и сопредельных стран, данные которых находятся в открытом доступе. Черные кружки – станции с доступным архивом среднемесячных данных, розовые – с доступным архивом среднесуточных данных. Синие точки – станции, расположенные на территории Алтае-Саянского региона

Под *сроком наблюдений* понимается интервал времени продолжительностью 10 мин, который заканчивается точно в указанный час. Например, срок 9 ч – это интервал времени от 8 ч 50 мин до 9 ч 00 мин. За конец метеорологических суток принимается срок 21:00 по UTC, а за начало следующих суток срок 0:00 по UTC. Данные наблюдений обрабатываются в течение 15 мин – и не позже чем через 20 мин после окончания срока, они зашифровываются специальным синоптическим кодом и передаются по каналам связи в региональные управления гидрометеоро-

службы. Оттуда данные поступают в межрегиональные центры и в конце концов оказываются в трех мировых центрах гидрометеорологических данных: Москве, Вашингтоне, Мельбурне. В случае бесбойной работы связи примерно через 40 мин после окончания срока наблюдений данные всех станций земного шара доступны для синоптиков всех мировых и региональных метеоцентров, а также для автоматизированных технологий численного прогноза погоды. Научно-исследовательские или учебные измерения могут выполняться по индивидуальной программе. Однако необходимо понимать, что это исключит возможность сопоставления полученных результатов с данными ближайших сетевых станций.

### **1.1.3. Метеорологические величины и приборы.**

#### **Точность измерений**

Основные принципы организации, методики производства и обработки всех видов метеорологических измерений и наблюдений, выполняемых подразделениями Росгидромета и других государственных ведомств, изложены в [13]. Отдельно рассматриваются принципы организации и проведения актинометрических [15] и теплобалансовых наблюдений [16]. В методике производства наблюдений, которая существенно не менялась за последние 25 лет, учтены основные рекомендации ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений, а также решения соответствующих комиссий ВМО. В таблице 1.1 приведен перечень основных метеорологических и актинометрических величин, точность их измерений, названия соответствующих приборов, а также даются краткие пояснения важнейших особенностей измерений. Подробно с методикой метеорологических измерений можно ознакомиться в [13].

Разработано очень много *метеорологических приборов*, точность которых соответствует стандартам ВМО. Однако само по себе понятие «метеорологическая сеть» предполагает наличие единообразных приборов. Это требование часто нарушается. Например, в СССР на сети станций использовался анеморумбометр М-63М-1, в то время как далеко не во всех зарубежных странах скорость и направление ветра измерялись и тем более измеряются в настоящее время этим же прибором. То же самое относится ко всему метеорологическому и гидрометрическому оборудованию. Это естественно – в каждой развитой стране производятся свои метеорологические и гидрологические приборы, несколько отличающиеся в эксплуатации, имеющие свои особенности чувствительности к изменениям внешней среды. Поэтому полного единообразия приборов на всех стан-



циях сети ВМО быть не может. Но главное – это неукоснительное выполнение требований точности измерений, установленных ВМО, которые изложены в [13]. Если эти требования соблюдаются, то метеорологические измерения следует считать точными. В таблице 1.1 указан просто класс приборов, без выделения какого-либо конкретного варианта.

Таблица 1.1

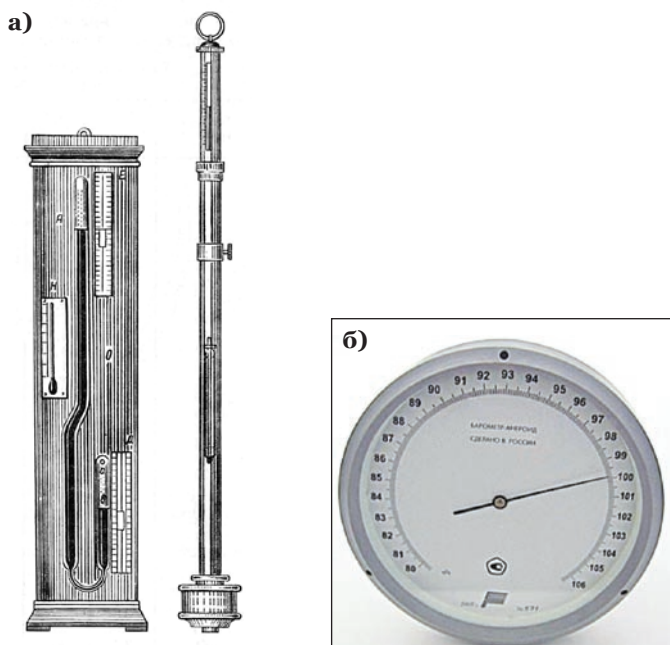
**Основные метеорологические величины, их точность и приборы, с помощью которых они измеряются**

Метеорологическая величина	Единица измерений	Точность измерений	Метеорологические приборы
Атмосферное давление	гПа (гектопаскали)	$\pm 0,1$ гПа	Ртутный барометр, барометр-анероид
Температура воздуха (срочная, минимальная, максимальная)	$^{\circ}\text{C}$ (градусы Цельсия)	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	Ртутные и спиртовые термометры
Температура точки росы	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	Станционный психрометр
Парциальное давление водяного пара	гПа	$\pm 0,1$ гПа	Станционный психрометр
Дефицит насыщения	гПа	$\pm 0,1$ гПа	Станционный психрометр
Относительная влажность	%	$\pm 1\%$	Гигрометр
Температура почвы на поверхности	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	Ртутные и спиртовые термометры
Температура почвы на глубинах	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	Термометры Савинова, глубинно-вытяжные термометры
Скорость ветра на уровне 10 м	м/с	$\pm(0,5+0,03V)$ м/с $\pm(0,5+0,05V)$ м/с	Анеморумбометр
Направление ветра на уровне 10 м	$^{\circ}$ (градус азимута)	$\pm 10^{\circ}$	Анеморумбометр, флюгеры Вильда
Скорость ветра на уровне 2 м	м/с	$\pm 0,2$ м/с	Анемометр
Количество осадков	мм водного эквивалента	0,2 мм	Осадкомер Третьякова
Интенсивность осадков	мм/час	$\pm 0,01$ мм/час	Плювиограф
Высота снежного покрова	см (сантиметры)	$\pm 1$ см	Снегомерная рейка
Плотность снежного покрова	кг/м <sup>3</sup>	$\pm 0,01$ кг/м <sup>3</sup>	Весомер снеговой
Составляющие радиационного баланса	Вт/м <sup>2</sup>	$\pm 10$ Вт/м <sup>2</sup>	Актинометр, пиранометр, балансомер
Составляющие теплового баланса	Вт/м <sup>2</sup>	$\pm 10$ Вт/м <sup>2</sup>	Не измеряются

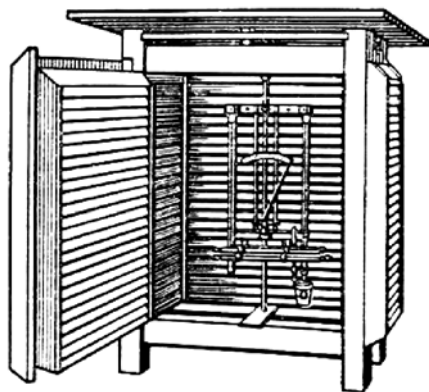
Самым точным прибором для измерения атмосферного давления является *ртутный барометр*. На метеорологических станциях используются ртутные чашечные барометры СР-А (для диапазона измерений 810–1070 гПа), СР-Б (для диапазона измерений 680–1070 гПа). Ртутный чашечный барометр (рис. 1.2, а) должен быть расположен в помещении метеорологической станции в специальном шкафчике. Измеряется температура воздуха при барометре (с точностью до 0,1 °С), затем производится отсчет по шкале барометра с точностью до 0,1 гПа. Определяются следующие характеристики атмосферного давления: давление на уровне станции, давление, приведенное к уровню моря (определяется для станций, расположенных на высоте менее 1000 м над уровнем моря), высота изобарической поверхности, ближайшей к уровню станции (для станций, расположенных на высоте более 1000 м над уровнем моря), значение барометрической тенденции (разности между значениями атмосферного давления текущего и предыдущего сроков наблюдений), характеристики барометрической тенденции. Характеристику барометрической тенденции (т. е. описание того, как вело себя атмосферное давление между сроками) получают с помощью барографа – прибора, непрерывно фиксирующего изменение атмосферного давления и отображающего его на специальной ленте – барограмме. В полевых метеорологических наблюдениях используется барометр-анероид (рис. 1.2, б). Принцип анероида применяется в датчиках давления, которыми оснащены современные автоматические метеостанции. Иногда значения атмосферного давления переводятся в значения миллиметров ртутного столба (1 мм рт. ст. = 1,333 гПа, 1 гПа=0,75 мм рт. ст.).

Вследствие турбулентного состояния атмосферы каждая частица воздуха имеет свою *температуру*, которая отличается от температуры других частиц. Для получения устойчивых значений температуры воздуха на метеорологических станциях измеряют среднее значение за 3–5; осреднение осуществляется за счет инерционности термометров и радиационной защиты метеобудки. На метеорологических станциях измеряется срочная температура (с помощью психрометрического термометра ТМ4-1), минимальная температура между сроками (с помощью минимального термометра ТМ2-1, ТМ2-2, ТМ2-3) и максимальная температура воздуха между сроками (с помощью максимального термометра ТМ-1). Также используются низкоградусные термометры ТМ-9 (до –70 °С). Температура воздуха по сухому и смоченному термометру измеряется на уровне 2 м над поверхностью в

специальной метеорологической (психрометрической) будке (рис.1.3). Психрометрическая будка необходима для того, чтобы не допустить попадания на приемные части термометров солнечных лучей. Чтобы минимизировать нагревание будки за счет поглощения лучистой энергии, ее принято красить в белый цвет. Стенки будки представляют собой жалюзи – это обеспечивает свободный воздухообмен внутри емкости. Дверца психрометрической будки и лесенка для выполнения наблюдений ориентированы строго на север.



**Рис. 1.2.** Приборы для измерения атмосферного давления: а) ртутные барометры, б) барометр-анероид



**Рис. 1.3.** Психрометрическая будка со стационарным психрометром и волосяным гигрометром внутри

Под *температурой точки росы* понимается температура, которую показывает смоченный термометр (ТМ4-2) психрометрической установки (станционного психрометра), расположенной в метеорологической будке. Психрометрическая установка ( см. рис 1.3.) состоит из сухого срочного термометра (ТМ4-1, для измерений срочной температуры воздуха) и смоченного термометра (ТМ4-2, приемная часть повязана батистом, который погружен в емкость с дистиллированной водой). Температура точки росы используется для вычисления характеристик влажности. Когда значения температуры сухого и смоченного термометров равны между собой, это означает, что атмосферный воздух насыщен водяным паром и больше не может его вмещать (относительная влажность в этом случае равна 100%).

Стандартная программа метеорологических наблюдений не предполагает прямых измерений характеристик влажности воздуха. Основной характеристикой влажности воздуха является *парциальное давление водяного пара* (давление, которое оказывает только лишь водяной пар при данной температуре). Эта характеристика вычисляется по измеренным значениям сухого и смоченного термометров станционного психрометра с использованием так называемых психрометрических таблиц, которые должны обязательно быть на любой метеорологической станции. Они основаны на решении уравнения Клаузиуса – Клапейрона, которое устанавливает однозначную анали-

тическую связь между температурой воздуха и парциальным давлением содержащегося в нем водяного пара [18,21]. Правда, современные автоматические метеостанции оснащены датчиками, непосредственно измеряющими характеристики влажности.

*Дефицит насыщения  $d$*  определяется как разность между парциальным давлением насыщенного водяного пара над водой и фактическим (измеренным) парциальным давлением:

$$d = E - e \quad (1.1)$$

где  $e$  – фактическое (измеренное) парциальное давление,  $E$  – давление насыщения водяного пара при данной температуре.

Дефицит насыщения равен нулю, когда воздух насыщен водяным паром и происходит его конденсация.

*Относительная влажность воздуха  $f$*  – это отношение измеренного парциального давления водяного пара к давлению насыщенного пара, выраженное в процентах

$$f = \frac{e}{E} 100\%, \quad (1.2)$$

где  $e$  – фактическое (измеренное) парциальное давление,  $E$  – давление насыщения водяного пара при данной температуре.

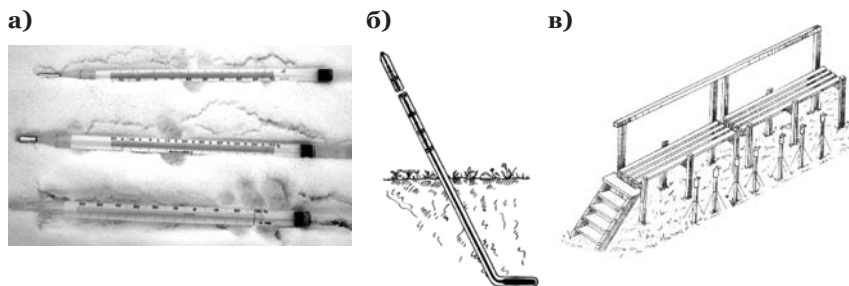
Относительная влажность, как и другие характеристики влагосодержания приземного воздуха, определяется при помощи психрометрических таблиц по значениям сухого и смоченного термометра, т. е. по стационарному психрометру. И только при температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  используется волосяной гигрометр, помещенный в психрометрическую будку. Для того чтобы использовать этот прибор при низких температурах, в летнее время он калибруется по данным, измеренным с помощью стационарного психрометра.

Наблюдения за *температурой почвы* включают в себя:

- измерения срочной, максимальной и минимальной температур на поверхности оголенной почвы. Термометры устанавливаются в середине оголенного участка, тщательно разрыхленного и выровненного, в порядке «с севера на юг» на расстоянии 5-6 см один от другого резервуарами к востоку, причем первый с севера – для измерения срочной температуры поверхности почвы или снежного покрова, второй – минимальный, для измерения минимальной температуры почвы (снежного покрова) между сроками, третий – максимальный, для измерения максимальной температуры; тер-

мометры должны быть уложены строго горизонтально и таким образом, чтобы их резервуары и внешняя оболочка наполовину погружались в почву (снежный покров). В теплое время года минимальный термометр убирается в помещение в 9:00 по местному времени и возвращается для производства наблюдений в 18:00 или в 21:00. Перед термометрами на время наблюдений с севера устанавливается реечный настил, выкрашенный в белый цвет (на расстоянии не менее 30 см, причем так, чтобы высота настила не превышала 5 см над поверхностью почвы);

- измерения на глубине 5, 10, 15, 20 см с помощью коленчатых термометров Савинова (рис. 1.4), которые устанавливаются под углом  $45^\circ$  под оголенной поверхностью, измерения также производятся с реечного настила;
- измерения на глубинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 м с помощью глубинно-вытяжных термометров под естественным растительным покровом (рис. 1.4).



**Рис. 1.4.** Измерения температуры почвы: а) на оголенной поверхности (в данном случае снежной) с помощью срочного, минимального и максимального термометров; б) на глубине  $h$  термометром Савинова (измерения проводятся на глубинах 5, 10, 15, 20 см, т. е. устанавливаются 4 термометра); в) под естественным растительным покровом глубинно-вытяжными термометрами (на глубинах 0,8, 1,2, 1,6, 2,4, 3,2 м)

Характеристики ветра на сетевых станциях Росгидромета измеряются на высоте 10 м с помощью анеморумбометра М-63М-1 (рис 1.5, а) или его модификаций, которые обеспечивают автоматическое измерение средней скорости ветра за 10 мин при заблаговременном включении прибора не менее чем за 10 мин до начала измерений. Десятиминутное осреднение рекомендуется потому, что атмосфера –

турбулентная среда и мгновенное измерение не отражает реальной ветровой обстановки. Поэтому измеряется как средняя скорость, так и значение максимального порыва. В исключительных случаях, когда ветровой поток сильно искажается препятствиями, высоту измерений можно увеличить до 20 м или вынести установку за пределы метеорологической площадки. Прибор должен обеспечивать измерение средней скорости ветра  $V$  (с осреднением за 10-минутный интервал) в диапазоне 1–40 м/с с погрешностью  $\pm(0,5+0,03)$  м/с, а максимальной скорости  $V_{max}$  (до 60 м/с) с погрешностью  $\pm(1,0+0,05)$ , при этом  $V$  – измеренная скорость ветра, а  $V_{max}$  – измеренная максимальная скорость (порыв ветра). В таблице 1.2 приведены погрешности измерений средней скорости и порывов при различных скоростях ветра.

Таблица 1.2

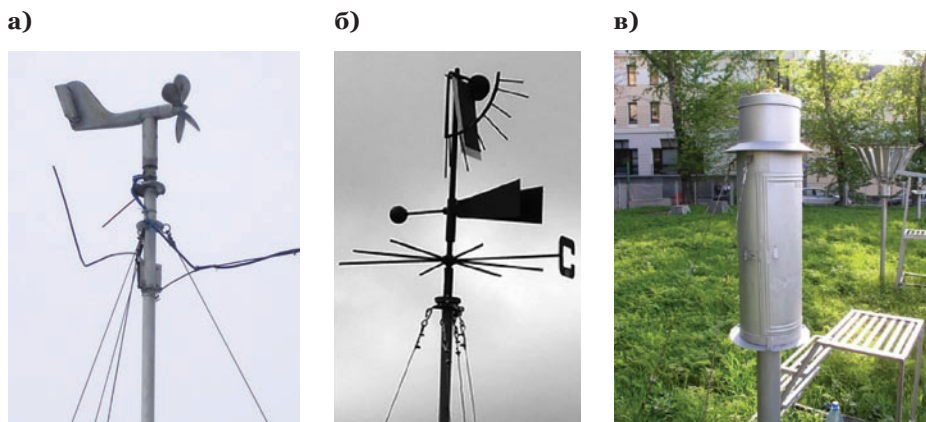
**Погрешности измерений средней скорости ветра по анеморумбметру М-63М-1**

$V$	0–3	4–8	9–14	15–20	21–26	27–32	33–38	38–44
$\Delta V$	0,5–0,6	0,6–0,7	0,8–0,9	1–1,1	1,1–1,3	1,3–1,5	1,5–1,7	1,7–1,9
$V_{max}$	4–9	10–15	16–21	22–27	28–33	34–39	40–50	50–60
$\Delta V_{max}$	1,2–1,5	1,6–1,8	1,8–2,0	2,1–2,3	2,4–2,6	2,7–2,9	3,0–3,5	3,5–4,0

**Примечание.** Погрешности измерения средней скорости ветра  $\Delta V$  (м/с, при реально наблюдаемой средней скорости  $V$ , м/с) и максимальной скорости  $\Delta V_{max}$  (м/с, при реальной наблюдаемой максимальной скорости  $V_{max}$ , м/с).

Как видно из таблицы 1.2, погрешности измерений существенно зависят от скорости ветра. Так, при слабом ветре (менее 3 м/с) погрешность очень велика (30–100 % от измеренного значения), в то время как при больших скоростях (более 10 м/с) погрешность всегда меньше 10 %. Помимо точной величины скорости ветра пользуются также визуальными оценками, используя шкалу Бофорта. Ее можно найти в [13], а также в Интернете, используя поисковые системы.

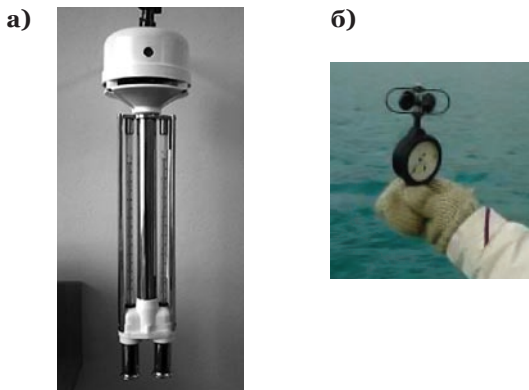
*Направление ветра* определяется также по анеморумбметру М-63М-1 или его модификациям. При отсутствии на станции сетевого питания скорость и направление ветра измеряется с помощью комплекта флюгеров Вильда (рис. 1.5, б). Флюгер с легкой доской применяется для измерения скорости ветра в диапазоне 0–10 м/с, флюгер с тяжелой доской – от 10 до 40 м/с [13].



**Рис. 1.5.** а) Анеморумбометр М-63М-1 (для измерения скорости и направления ветра), б) флюгер Вильда с легкой доской (для измерения направления ветра), в) плувиограф (на переднем плане) и осадкомер с защитой Третьякова (на заднем плане)

Для оценки *потоков тепла и влаги* в приземном слое и для других исследований зачастую требуются высокоточные приборы измерений скорости ветра. Для этого используются анемометры Фусса, предназначенные для измерений скорости ветра в приземном слое воздуха в диапазоне  $0 - 20$  м/с (рис. 1.6, б). Измерения скорости ветра с помощью анемометров Фусса недопустимы в условиях штормового (более 20 м/с) и ураганного (более 33 м/с) ветра, а также в условиях выпадения осадков. Анемометры Фусса располагаются на градиентной установке или на установке для восстановления профиля ветра с высотой.

**Рис. 1.6.** Основные приборы для градиентных наблюдений: а) аспирационный психрометр Ассмана, б) анемометр Фусса





*Количество осадков* – это высота слоя воды (в миллиметрах), образовавшегося на горизонтальной поверхности от выпавшего дождя, мороси, обильной росы, тумана, а также растаявшего в помещении снега, града, изморози и других гидрометеоров за 12-часовой интервал времени. Для измерения количества осадков применяется осадкомер О-1 с приемной поверхностью 0,2 м<sup>2</sup>. Имеется в виду осадкомерный сосуд с ветровой защитой Третьякова, принятой на сети ВМО в 1966 г. (см. рис. 1.5,в). Ветровая защита Третьякова важна в основном при измерении сумм твердых осадков. Жидкие осадки измеряются два раза в сутки, в сроки, ближайšie к 8 и 20 ч. поясного декретного времени. Наблюдатель переливает жидкие осадки из осадкоборного сосуда через носок в осадкомерную емкость. Затем осадкомерная емкость ставится на строго горизонтальную поверхность, после чего наблюдатель отсчитывает деление, соответствующее уровню воды. Полученный результат делится на 20 – в итоге получается сумма осадков (в миллиметрах), собранных с одного квадратного метра. Твердые осадки, собранные в осадкоборном сосуде, перед измерением должны растаять. Вторым путем измерения твердых осадков является метод взвешивания с точностью до 1 г. Точность измерений твердых осадков даже при наличии защиты довольно низкая: 5–10%.

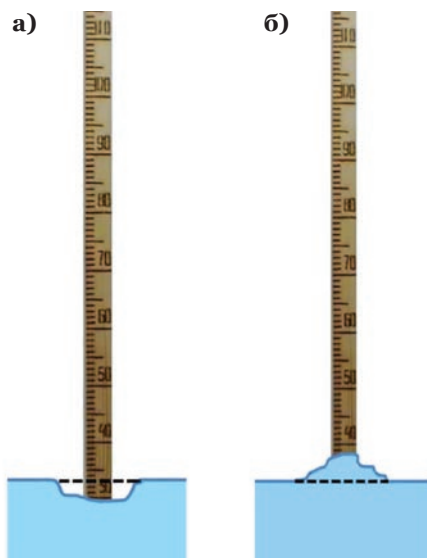
*Интенсивность осадков* измеряется прибором-самописцем, который называется плувиограф (см.рис. 1.5, б). Измеряют интенсивность только жидких осадков. При температуре ниже 0 °С плувиограф не используется. Диаграммный бланк плувиографа меняется один раз в сутки в срок, ближайший к 20 ч. декретного времени. Подробнее ознакомиться с устройством плувиографа, а также с особенностями обработки плувиограмм можно в [13].

Наблюдения за *снежным покровом* состоят из большого количества качественных оценок и количественных измерений. При ежедневных наблюдениях за снежным покровом определяют:

- степень покрытия окрестностей станции снежным покровом (визуально, по 10-балльной шкале, где 1 балл – примерно 10% покрытия территории);
- характер залегания снежного покрова (по соответствующей таблице кода, в которой 0 – равномерный снежный покров на замерзающей почве, 1 – равномерный снежный покров на оттаявшей почве, 2 – равномерный снежный покров с неизвестным

состоянием почвы, 3 - неравномерный снежный покров на замерзающей почве, 4 – неравномерный снежный покров на оттаявшей почве, 5 – неравномерный снежный покров с неизвестным состоянием почвы, 6 – очень неравномерный снежный покров на замерзающей почве, 7 – очень неравномерный снежный покров на оттаявшей почве, 8 – очень неравномерный снежный покров с неизвестным состоянием почвы);

- структуру снега (по соответствующей таблице кода, в которой 0 – свежий пылевидный снег, 1 – свежий пушистый снег, 2 – свежий липкий снег, 3 – старый рассыпчатый снег, 4 – старый плотный снег, 5 – старый влажный снег, 6 – снежная корка, не связанная со снегом под ней, 7 – плотный снег с коркой на поверхности, 8 – влажный снег с коркой на поверхности, 9 – мокрый снег);
- высоту снежного покрова на метеорологической площадке или на выбранном участке вблизи станции (в сантиметрах с точностью до 0,5 см по деревянной снегомерной стационарной рейке длиной 1800 мм с ценой деления 1 см); если высота снежного покрова более 1,5 м, в качестве средства измерений может быть использована снегомерная металлическая переносная рейка М-46 или составной снегомер М-78; измерения поочередно проводятся по трем рейкам с точностью до 1 см при производстве отсчетов, причем наблюдатель должен находиться на расстоянии 2–3 м от рейки; за высоту снежного покрова принимается то деление рейки, против которого находится уровень снежного покрова; если рейка оказывается залеплена снегом, необходимо осторожно очистить ее длинной легкой палкой с планкой на конце (ни в коем случае не руками), не нарушая структуру снежного покрова; в случае выдувания снега у рейки отсчет производится так, как показано на рис. 1.7, а, а в случае наметания – как на рисунке 1.7, б);
- плотность снежного покрова из установленного числа измерений на снегомерном маршруте;
- структуру снежного покрова (наличие прослоек льда, воды и снега, насыщенного водой);
- характер залегания снежного покрова на маршруте;
- степень покрытия снегом маршрута (балл);
- состояние поверхности почвы под снегом (мерзлая или талая).



**Рис. 1.7.** Отсчет по снегомерной рейке:

- а) при выдувании снега,
- б) при наметании снега

Ежедневные наблюдения за снежным покровом должны проводиться при любых погодных условиях в срок, ближайший к 8 ч поясного декретного времени, в соответствии с порядком производства наблюдений на станции. Наблюдения за степенью покрытия окрестности снегом, характеристикой залегания снежного покрова и структурой снега производятся с одного и того же наиболее высокого места метеорологической площадки или вблизи нее. Отдельно 10, 20 числа каждого месяца, а также в последний день месяца проводится снегомерная съемка по заданному маршруту, которая включает измерение высоты снежного покрова в точках, характеризующих различные условия данной местности, а также плотности снега в данных точках. Цель снегомерной съемки – оценка влагозапаса снежного покрова. Для снегомерных съемок выбираются и закрепляются маршруты:

- на открытом участке (поле, степь, луг) длиной 1 км (если рельеф однородный) и 2 км (в случае неоднородного рельефа);
- в лесу, под кронами деревьев, длиной 0,5 км;
- 3–5 поперечных профиля через балки, овраги и речные долины.

Выбранный снегомерный маршрут должен быть постоянным. Точки обязательно маркируются или заносятся в память с помощью GPS. Плотность снежного покрова измеряется весовым снегомером ВС-43. Его цилиндр погружают отвесно в снег отточенным краем вниз и слегка надавливают на него. По шкале цилиндра отсчитывают высоту снега с точностью до 1 см, отгребают лопаточкой снег с одной стороны цилиндра и подводят ее под нижний край. Подняв цилиндр вместе с лопаточкой, переворачивают его нижним краем вверх и очищают наружную поверхность от снега. Пробу снега взвешивают. Для этого цилиндр подвешивают к весам и приводят их в равновесие. После взвешивания пробу выбрасывают рядом с местом измерения, а снегомер тщательно очищают от снега. При высоте снежного покрова менее 60 см (меньше высоты цилиндра) плотность снега измеряется путем взятия одной пробы; при высоте снежного покрова более 60 см следует взять несколько проб таким образом, чтобы высота столба снега для каждой пробы была менее 60 см.

Измерение *компонент радиационного баланса* называют актинометрическим. Актинометрическая установка включает приборы для измерения коротковолновой приходящей солнечной радиации. Актинометрические наблюдения являются единственным самым точным источником информации о радиационном балансе подстилающей поверхности. Радиационный баланс – это результирующее значение радиационных потоков, поступающих от Солнца, атмосферы и подстилающей поверхности. В общем виде радиационный баланс  $B$  выражается формулой 1.3:

$$B = S + D - R - B_d \quad (1.3)$$

где  $S$  – солнечная радиация, поступающая непосредственно от диска солнца на горизонтальную поверхность (прямая радиация),  $D$  – солнечная радиация, рассеянная молекулами воздуха, а также атмосферными примесями и облачностью (рассеянная радиация),  $R$  – часть коротковолновой (солнечной) радиации, отраженной земной поверхностью,  $B_d$  – разность между длинноволновым (тепловым) излучением земной поверхности и атмосферы (т.е в диапазоне длин волн).

Сумму прямой  $S$  и рассеянной  $D$  радиации называют *суммарной солнечной радиацией*  $Q$ . Суммарная радиация – это результирующая солнечная энергия, поступающая к земной поверхности. Ее еще называют коротковолновой радиацией (спектр солнечного излучения, которое

доходит до земной поверхности, колеблется в диапазоне  $0,1 - 4 \cdot 10^{-6}$  м, в него входят ультрафиолет, видимая радиация и та часть инфракрасного спектра, которая по длине волн ближе к видимой, – так называемая ближняя инфракрасная радиация).

Величина радиационного баланса  $B$  характеризует то количество энергии, которое поглощается подстилающей поверхностью и, соответственно, затрачивается на ее нагревание. Подробнее с вопросами, связанными с переносом лучистой энергии в атмосфере и радиационным балансом подстилающей поверхности, можно ознакомиться в [18,21].

Для измерения прямой солнечной радиации служит актинометр (рис. 1.8, а). Актинометр измеряет прямую солнечную радиацию, поступающую на площадку, перпендикулярную солнечным лучам. Поэтому для того, чтобы получить прямую радиацию  $S$ , поступающую на горизонтальную поверхность, необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$S = S_0 \sin(h_s) \quad (1.4)$$

где  $S_0$  – прямая солнечная радиация, поступающая на площадку, перпендикулярную солнечным лучам,  $h_s$  – высота Солнца, которая зависит от географической широты, угла солнечного склонения (который зависит от сезона) и от часового угла (времени суток).

Формула для расчета высоты солнца, а также табличные значения солнечного склонения содержатся в [15].

При определении высоты солнца и вообще сроков актинометрических наблюдений необходимо помнить о так называемом истинном солнечном времени, которое вычисляется как  $\tau_{\odot} = \tau_m + \Delta\tau$ , где  $\tau_m$  – среднее солнечное время, которое вычисляется в зависимости от географической долготы (один час среднего солнечного времени соответствует  $15^\circ$  долготы, при этом центральными меридианами являются  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  и т. д.; соответственно,  $1^\circ$  равен 4 минутам по времени, 1 угловая минута соответствует 4 секундам по времени и т. д.);  $\Delta\tau$  – так называемое уравнение времени, которое представляет собой поправку к среднему солнечному времени).

Потоки рассеянной и отраженной солнечной радиации измеряются пиранометром (рис. 1.8, б). При стандартных актинометрических наблюдениях пиранометр затеняется в том случае, если измеряется поток рассеянной радиации, и располагается приемной частью к земной поверхности под углом  $90^\circ$  при измерениях потока отраженной

радиации. Отражающая способность подстилающей поверхности, или альbedo, оценивается как отношение потока отраженной радиации к суммарной. Для измерения баланса длинноволновой радиации, исходящей от подстилающей поверхности и от атмосферы, используется балансомер (рис. 1.8, в).



**Рис. 1.8.** Основные актинометрические приборы: а) актинометр, б) пиранометр, в) балансомер

Составляющие радиационного баланса измеряются на специальной актинометрической установке над естественной поверхностью на высоте 1 м. Сама же актинометрическая стрела ориентируется в зависимости от положения солнца. Наблюдатель располагается на специальном помосте. Подстилающая поверхность непосредственно в зоне наблюдений должна быть естественной. Для измерения потока рассеянной солнечной радиации, а также длинноволнового баланса применяется затенение. Как было отмечено ранее, на станциях приборы могут быть разными. Главное – придерживаться единой схемы наблюдений и требований точности. На метеорологических станциях Росгидромета используется актинометр АТ-50, пиранометр М-80 и балансомер М-10. Для измерения суммарной, рассеянной и отраженной радиации применяется альбедометр походный (АП-3х3). Принцип действия приборов основан на неравномерном нагревании элементов приемной части, которые выкрашены белой и сажевой краской. В результате возникает ток, который измеряется гальванометром, мультиметром или любым другим прибором, фиксирующим силу тока, напряжение и сопротивление. Фиксируемые значения переводятся в величины радиационных потоков с помощью специальных переводных множителей. Подробно с методикой актинометрических наблюдений можно ознакомиться в [15].

Градиентные наблюдения входят в полную программу метеорологических наблюдений. Их главная цель – количественная оценка *компонент теплового баланса*. Выше (формула 1.3) было кратко сформулировано понятие радиационного баланса. Тепловой баланс в упрощенном виде вычисляется по формуле:

$$c_* \rho_* h \frac{dT_0}{dt} = B + H + LE + G_p \quad (1.5)$$

где  $c_*$  – теплоемкость почвы (или снежного покрова, ледника, горных пород), Дж/кг К;  $\rho_*$  – плотность слоя почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – толщина слоя почвы, в пределах которого наблюдаются суточные колебания температуры, м;  $B$  – радиационный баланс подстилающей поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  $H$  – теплообмен атмосферы с окружающей средой (его еще называют турбулентным теплообменом);  $LE$  – затраты тепла на испарение, или турбулентный поток влаги ( $L$  – удельная теплота парообразования;  $E$  – слой испарившейся или сконденсировавшейся воды), Вт/м<sup>2</sup>;  $G_p$  – поток тепла в почву, Вт/м<sup>2</sup>. В период снеготаянья или при исследовании теплового баланса ледника вместо потока тепла в почву записывают слагаемое, которое описывает затрату тепла на таянье снега или льда [18,21].

Из формулы (1.5) хорошо видно, что градиентные наблюдения имеют смысл только в том случае, если выполняются актинометрические наблюдения, а также измерения температуры почвы на различных глубинах. Известно, что значения потоков тепла и влаги пропорциональны их изменчивости в вертикальном направлении, т. е. градиентам. Поэтому для того, чтобы оценить эти потоки, необходимы измерения этих величин на различных высотах. Итак, стандартные градиентные наблюдения представляют собой измерения температуры воздуха и точки росы с помощью аспирационного психрометра Асмана на уровнях 0,5 и 2 м над поверхностью, а также скорости ветра с помощью анемометра Фусса на уровнях 0,25 и 1 м. Уровней может быть и больше – вплоть до нескольких десятков. Например, в НИИ экспериментальной метеорологии в г. Обнинске высота градиентной мачты превышает 300 м. В полевых условиях высота приборов может варьироваться. Однако необходимо помнить, что в [16], а также во многих других справочных материалах все коэффициенты, которые затем используются в расчетах, посчитаны для высот, указанных выше. Необходимое условие – расположение анемометров точно между псих-

рометрами (по высоте). Подробно с методикой теплобалансовых наблюдений можно ознакомиться в [16].

Измерения температуры воздуха и точки росы позволяют определить характеристики влажности по психрометрическим таблицам. Таким образом, с помощью аспирационного психрометра на двух (или более) уровнях измеряют срочную температуру воздуха, температуру точки росы, дефицит влажности, парциальное давление водяного пара и относительную влажность. С помощью анемометров Фусса на двух уровнях, расположенных между уровнями психрометрических измерений, измеряют скорость ветра (берется скорость, осредненная за 10 мин). С помощью полученных результатов оценивают компоненты теплового баланса. В последние 10–15 лет появились автоматические пульсационные датчики, позволяющие измерять сами турбулентные потоки. Тем не менее, градиентные наблюдения все равно необходимы – хотя бы для сравнения с результатами этих датчиков. Сведения о компонентах теплового баланса являются важнейшей характеристикой микроклиматических условий ландшафта.

Результаты метеорологических наблюдений записываются в специальную книжку КМ-1. Также существуют книжка для записей дополнительных наблюдений КМ-2, книжка для записей температуры почвы КМ-3, книжка для записи наблюдений за обледенением КМ-4 и книжка для наблюдений за снежным покровом КМ-5. После проведения измерений и записей в вышеозначенные книжки метеорологические величины обрабатываются.

Под **обработкой метеорологических величин** понимают следующие действия:

- *осреднение измеренных значений.* Практически все показания метеорологических приборов снимаются несколько раз, поскольку атмосфера является турбулентной средой, которая характеризуется непрерывными вариациями метеорологических величин. Не осредняются измерения скорости и направления ветра (осреднение выполняется автоматически), суммы и интенсивность осадков. Осреднение часто выполняется прямо на метеорологической площадке, в процессе записи в книжки наблюдателя. Актинометрические наблюдения осредняются в процессе обработки;
- *введение поправок к измеренным осредненным значениям.* Каждый прибор в обязательном порядке имеет технический паспорт,



в котором содержится официальная информация о погрешностях измерений при различных диапазонах измеряемых величин и в случае наличия тех или иных атмосферных явлений. Эти поправки в обязательном порядке вводятся к осредненным значениям величин;

- *вычисление характеристик, которые не измеряются, а вычисляются с помощью измеренных величин.* К ним относится приведение давления к уровню моря (для каждой станции составляется соответствующая таблица), вычисление характеристик влажности, компонент радиационного и теплового баланса.

Подробно с методикой обработки данных измерений можно ознакомиться в [13].

На каждой метеорологической станции должны иметься следующие пособия и вспомогательные материалы:

- наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып.3, ч.1 [13];
- руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (полезно даже в том случае, если наблюдения не ведутся, поскольку содержит таблицы значений солнечного склонения, поправок для вычисления истинного солнечного времени и много других ценных вспомогательных материалов) [15];
- руководство по теплобалансовым наблюдениям (если на станции такие проводятся) [16];
- атлас облаков;
- психрометрические таблицы (для определения характеристик влажности воздуха по измеренным значениям температуры сухого и смоченного термометра стационарного психрометра);
- методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях;
- инструкция о наблюдениях за опасными и особо опасными гидрометеорологическими явлениями;
- код для передачи данных гидрометеорологических наблюдений КН-1.

Как отмечалось выше, помимо количественных измерений, в метеорологии многие явления (например, метеорологическая дальность видимости, балл и тип облаков, интенсивность явлений погоды, оптические явления и т. д.) оцениваются качественно. Точность этих оценок во многом зависит от квалификации и состояния наблюдателя, и потому они достаточно субъективны. Однако приборы, которые бы позволяли точно осуществлять качественные измерения, пока не созданы. Именно поэтому наличие наблюдателей на метеостанциях ВМО пока что является обязательным, несмотря на то что последние 15–20 лет быстрыми темпами идет процесс автоматизации метеорологических наблюдений.

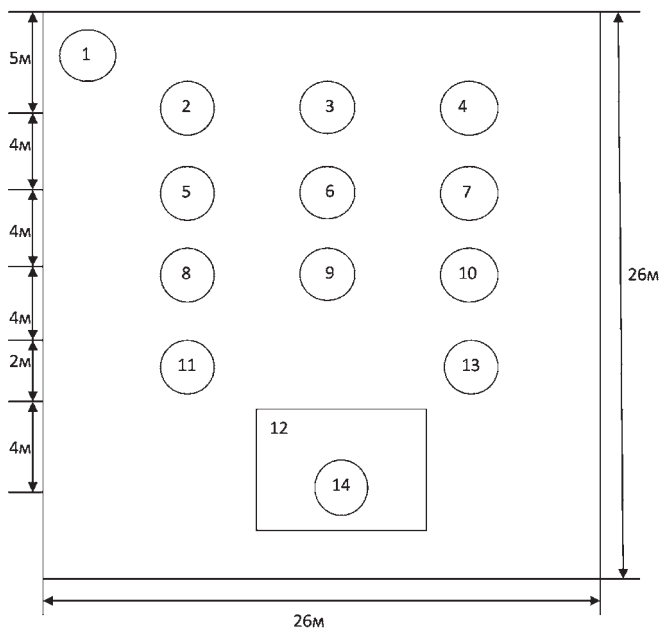
Автоматизация измерений во многом упрощает процесс метеонаблюдений. Например, измерения температуры и влагосодержания не требуют использования психрометрической будки; радиационные потоки измеряются сразу на горизонтальную поверхность, измерение суммы осадков и их интенсивности проводится одним прибором и т. д. Однако для того, чтобы правильно интерпретировать результаты наблюдений, а также сравнивать их с данными сетевых станций необходимо хотя бы начальное понимание процесса производства метеорологических измерений. Кроме того, ряд требований (выбор места метеорологической площадки и ее характеристики, вертикальные уровни наблюдений, сохранение подстилающей поверхности в естественном состоянии, ориентация анеморумбометра и актинометрической стрелы и т. д.), естественно, остаются такими же.

#### **1.1.4. Организация стандартной метеорологической площадки**

Схема размещения приборов на метеорологической площадке, соответствующая сокращенной программе метеонаблюдений, приведена на рисунке 1.9 [13]. Метеорологическую площадку располагают так, чтобы наблюдения отражали метеорологические условия как можно более обширного района. Независимо от характера окружающей местности участок, где располагается метеоплощадка, должен быть ровным, открытым, удаленным от строений, деревьев и других препятствий на расстояние не менее 10-кратной их высоты и не ближе чем в 100 м от больших водоемов. В то же время следует избегать чрезмерно открытых мест, где скорости ветра бывают завышены. Нельзя размещать метеорологическую площадку вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа. Стандартная метеорологическая площадка имеет размеры 26 x 26 м и

ориентируется так, чтобы ее стороны были направлены с севера на юг и с востока на запад. Если объем наблюдений небольшой, размер площадки может быть уменьшен до 20 x 16 м, при этом длинная сторона прямоугольника направляется с севера на юг. Приборы и оборудование размещают таким образом, чтобы они не влияли на показания соседних установок (не было затенения приборов, нарушения обмена воздуха). Поэтому на площадке приборы и оборудование устанавливают обычно в четыре линии, с севера на юг, примерно в шахматном порядке на расстоянии не менее 5 м друг от друга.

Актинометрическая установка, а также установка для градиентных наблюдений устанавливается к югу от напочвенных термометров.



**Рис. 1.9.** План размещения оборудования и приборов на метеорологической площадке (расстояния указаны в метрах): 1 – геодезический репер станции; 2 – флюгер с легкой (тяжелой) доской; 3 – анеморумбометр; 4 – гололедный станок; 5 – будка психрометрическая; 6 – снегомерная рейка; 7 – будка психрометрическая запасная; 8 – осадкомер; 9 – пловниограф; 10 – запасной столб для осадкомера; 11,13 – снегомерные рейки; 12 – оголенный участок для напочвенных термометров; 14 – напочвенные термометры

Площадку обносят хорошо продуваемой оградой из проволоки или проволочной сетки. Нельзя применять штакетные ограды, способствующие накоплению снега и препятствующие свободному обмену воздуха. Вход на площадку располагается с северной стороны. Чтобы не нарушать естественного состояния поверхности площадки, для подхода к приборам прокладывают выпуклые дорожки шириной 40 см. К почвенным термометрам дорожки должны вести с севера, к гелиографу – с юга, к другим установкам – с тем расчетом, чтобы наблюдения производились с наименьшими затратами времени на переходы. За метеорологической площадкой периодически нужно ухаживать. Психрометрические будки, ограда, столбы, подставки для приборов должны быть покрашены белой краской для того, чтобы приборы нагревались минимально. Покров метеорологической площадки должен по возможности поддерживаться в естественном состоянии. Нельзя допускать разрастания травяного покрова выше 20 см. Не следует нарушать естественное состояние снежного покрова, но в случае образования сугробов их необходимо удалять.

Все метеорологические измерения выполняются под открытым небом. Исключение составляет атмосферное давление, которое измеряется в помещении (в здании метеостанции). Дело в том, что разница давления между помещением и открытым воздухом ничтожно мала. Если речь идет о специальных наблюдениях, направленных на оценку составляющих теплового баланса, то организуют так называемые градиентные наблюдения. Устанавливается специальная градиентная мачта, на которой приборы принято размещать на высотах 0,25; 0,5; 1 и 2 м. Требования к точности аспирационного психрометра Асмана такие же, как к точности измерений в психрометрической будке:  $0,1^{\circ}\text{C}$  для обоих термометров (сухого и смоченного). А вот для анемометра Фусса требования существенно выше, чем для стандартных измерений скорости ветра на уровне 10 метров: 0,1 м/с. Подробно с методикой теплосбалансовых наблюдений можно ознакомиться в [16].

### **1.1.5. Основные характеристики пространственной структуры метеорологических полей**

Атмосфера является турбулентной средой, поэтому поля метеорологических элементов весьма изменчивы как в пространстве, так и во времени. В различных ситуациях метеозлемент может принимать разные значения. Совокупность этих значений для определенной террито-

рии в заданном интервале времени называется *реализацией случайного поля*. Число таких реализаций бесконечно. Поэтому в метеорологии принято рассматривать статистические характеристики полей, которые позволяют установить общие особенности, характерные для всего набора реализаций. Эти общие особенности принято называть *статистической структурой случайного поля*. При организации метеорологической сети, а также для интерполяции метеоэлементов в узлы регулярной сетки учет статистической структуры метеорологических полей необходим. Простейшими и вместе с тем основными статистическими характеристиками полей метеовеличин являются средняя величина, отклонение от среднего, пространственная дисперсия величины, а также ковариационная и корреляционная функции [6,7].

Пусть  $f^j(r)$  есть  $j$ -я реализация случайного поля по времени ( $r$  – радиус-вектор точки наблюдений, т. е. ее координаты). Всего таких реализаций  $N$ . В таком случае статистическое осреднение по времени, которое здесь и ниже обозначается чертой сверху, будет определяться по формуле:

$$\bar{f}(r) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f^j(r). \quad (1.6)$$

Величина  $f^j(r)$  характеризует среднее из всех возможных значений в данной точке. Когда анализируются статистические свойства метеополей, наибольший интерес представляют величины, характеризующие отклонения от среднего.

Важнейшей статистической характеристикой является *пространственная дисперсия метеовеличины*, которая определяется по формуле:

$$D(r) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [f(r_i) - \bar{f}(r_i)]^2, \quad (1.7)$$

где  $f(r_i)$  – значение метеорологической величины в точке  $r_i$ ,  $\bar{f}(r_i)$  – среднее по точкам всем точкам наблюдений в исследуемом районе,  $m$  – число точек наблюдений. Чаще пользуются среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ , которое вычисляется как квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (1.8)$$

Пространственная дисперсия, или среднеквадратическое отклонение, дает общую информацию о масштабе изменчивости метеове-

личины в заданной области. Кроме этого, как было отмечено выше, крайне важно понимание того, насколько пространственно зависима статистическая связь между наблюдениями в точках станций. В общих чертах очевидно, что чем больше расстояние между точками наблюдения, тем в меньшей степени ряды метеовеличин в этих точках будут связаны между собой.

*Ковариационная функция*  $m_f$  любой изучаемой метеорологической величины  $f$  (температуры, влажности, осадков и т. д.) для любой пары точек  $r_i$  и  $r_k$  определяется по следующей формуле:

$$m_f(r_i, r_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [f(r_i) - \bar{f}(r_i)][f(r_k) - \bar{f}(r_k)], \quad (1.9)$$

где  $N$  – число наблюдений;  $f(r_i)$ ,  $f(r_k)$  – измеренные величины в точках  $r_i$  и  $r_k$ ;  $\bar{f}(r_i)$ ,  $\bar{f}(r_k)$  – средние по времени значения метеорологической величины  $f$ , измеренной в точках наблюдения  $r_i$  и  $r_k$ .

Как правило, используются средние климатические нормы для конкретных суток, месяца, года. Произведения отклонений от нормы в точках  $r_i$  и  $r_k$  осредняются по числу наблюдений  $N$ . Ряд наблюдений должен быть максимально однородным. Ковариационные функции вычисляются для каждого из сезонов года. Если ряд наблюдений достаточно длинный (хотя бы несколько лет), то ковариационные функции вычисляются даже для разных типичных условий атмосферной циркуляции.

Наиболее широко используется *нормированная корреляционная функция*, представляющая собой отношение ковариационной функции любой изучаемой метеорологической величины между двумя точками  $i, k$  к стандартным отклонениям данной величины в этих точках  $\sigma(r_i)$ ,  $\sigma(r_k)$ , которые считаются по формуле 1.7. Итак, нормированная корреляционная функция:

$$\mu_f(r_i, r_k) = \frac{m_f(r_i, r_k)}{\sigma_f(r_i) \sigma_f(r_k)}. \quad (1.10)$$

Допустим, что в некоторой области существует несколько точек измерений. Тогда по формуле (1.10) вычисляется коэффициент корреляции между первой и второй точками, затем между первой и третьей и т. д. Далее то же самое делается для второй, точки, затем для третьей и т. д. Для каждой из точек наблюдений получится зависимость коэффициента корреляции от расстояния. Нормированная корреляцион-

ная функция, естественно, убывает с ростом расстояния между точками наблюдений.

Представим себе окружность, центром которой является точка наблюдений. Положим, что радиус этой окружности зависит от статистической значимости связи между величиной, измеренной в точке (т. е. в центре окружности) и теми же величинами, измеренными в других точках. То есть за пределами окружности связь между точкой в ее центре и другими точками наблюдений фактически отсутствует (или является случайной). Тогда радиус данной окружности называется радиусом корреляции. Определяется он по-разному, поскольку сам по себе вопрос о значимости статистических связей очень сложен. Во-первых, он сильно зависит от самой величины (хорошо известно, что поле давления относительно мало изменчиво в пространстве по сравнению с полем температуры и тем более осадков). Во-вторых, величина радиуса корреляции зависит от требований точности в различных задачах. Так, например, при восстановлении срочных полей метеовеличин достаточно, чтобы ошибка интерполяции между станциями не превышала значения среднеквадратического разброса по всей области; при получении среднемесячных значений точность интерполяции в точки, расположенные между станциями, должна быть близкой к точности измерений; и т.д.

В работе [10] радиус корреляции определен как расстояние, в пределах которого коэффициент корреляции убывает в  $e$  раз по сравнению с его значением между ближайшими точками. В работах [5,6] изложен метод Дроздова – Шепелевского, согласно которому максимально допустимое расстояние между точками наблюдения должно быть таким, чтобы средняя квадратическая ошибка линейной интерполяции на середину отрезка между этими станциями не превышала точности измерения метеоэлемента. Детально ознакомиться с методами оценок радиуса корреляции, а также с проблемой статистического обоснования планирования гидрометеорологической сети можно в работах [5,6,10]. Здесь лишь отметим, что для таких величин, как температура и характеристики влажности, «порогом значимости» обычно выбирают значения нормированной корреляционной функции, лежащие в диапазоне 0,7–0,8; для скорости ветра – 0,6–0,7, для сумм осадков – 0,5–0,6.

Таким образом, для каждой метеорологической величины характерно собственное значение радиуса корреляции. Многочисленные

исследования статистических свойств метеорологических полей показали, что для срочного значения температуры и характеристик влагосодержания на равнинных территориях в умеренной климатической зоне радиус корреляции равен примерно 150 км, для атмосферного давления – 300 км, для полусуточной суммы осадков – 50 км. Это означает, что точки «идеальной» сети наблюдений за температурой должны быть расположены на расстоянии не более 150 км друг от друга, осадков – 50 км и т. д. Если при организации метеорологической сети опираться на самые статистически неоднородные величины (осадки, скорость и направление ветра, облачность), то окажется, что расстояния между элементами сети на равнинах не должны превышать 50 км. В горах эта величина на порядок меньше (порядка 5 км). Правда, ситуация меняется при увеличении масштабов временного осреднения. Для среднемесячных значений радиусы корреляции существенно увеличиваются, достигая на равнинной территории для приземной температуры воздуха 300 км, для осадков и скорости ветра – 100 км. Еще больше радиус для годовых значений: температура – 500 км, осадки – 250 км.

Метеорологическое поле называется изотропным, если значение коэффициента пространственной корреляции между точками наблюдений не зависит от направления. Т. е. изокоррелянты каждой из точек представляют собой концентрические окружности. В реальности на равнинных территориях они, как правило, имеют форму эллипса, вытянутого по направлению ветра. Ветер переносит атмосферные свойства, поэтому связь между величинами по направлению преобладающего потока сохраняется, естественно, дольше.

### **1.1.6. Особенности метеорологических наблюдений в горных районах**

Гидрометеорологические наблюдения в горах входят в систему глобальной сети ВМО и преследуют те же цели, что и равнинные. Во-первых, они обеспечивают многочисленные отрасли экономики и общественности текущей информацией о погоде. Во-вторых, на основе данных наблюдений в прогностических центрах национальных служб погоды готовятся поля гидрометеорологических величин, которые, с одной стороны, являются основой для синоптического анализа и прогноза погоды, а с другой – начальными и граничными условиями для задачи автоматизированного численного прогноза. Поэтому, как и



равнинные метеостанции, многие горные входят в систему международного обмена данными ВМО. Однако, когда речь идет об организации научно-исследовательского или прикладного эксперимента, гидрометеорологические измерения, как правило, преследуют дополнительные цели. Перечислим основные из них.

1. *Оценки изменений климата в соответствующем горном регионе.* Для этого необходимо создать долговременную (не менее десяти лет) систему непрерывных наблюдений на репрезентативных участках горных ландшафтов. Такого рода наблюдения не требуют большой временной дискретности – достаточны сроки, рекомендованные ВМО (один раз в 3 ч). В перечень наблюдаемых величин в обязательном порядке должны входить основные характеристики климата: атмосферное давление, температура воздуха, парциальное давление водяного пара, суточная сумма осадков, скорость и направление ветра. Если эксперимент преследует более сложные задачи (например, выявление связей между изменениями климата и растительности), то необходимы измерения составляющих радиационного баланса, а также температуры и влажности почвы на различных глубинах.

2. *Измерение компонентов теплового баланса горных ледников.* В этом случае метеорологические станции устанавливаются на относительно однородных, субгоризонтальных ледовых и моренных поверхностях. Для того чтобы оценить теплообмен ледника с атмосферой, помимо полного перечня метеорологических и актинометрических величин, необходимы градиентные наблюдения. Они могут представлять собой автоматизированные измерения температуры и влажности воздуха на четырех уровнях над земной поверхностью (0,25; 0,5; 1, 2 м), а также скорости ветра на этих же уровнях. В крайнем случае допускается использование двух уровней (0,5 и 2 м). Другой, современный, вариант градиентных наблюдений – измерения самих турбулентных потоков тепла и влаги над поверхностью льда и морены с помощью пульсационных датчиков (или акустических анемометров). Временная дискретность таких наблюдений в идеале должна составлять 15 мин (не менее 1 ч).

3. *Мониторинг лавин, селей и паводковых явлений на реках.* Перечень необходимых для этого измерений невелик. Мониторинг селей требует регулярных измерений температуры воздуха и суммы жидких осадков, температуры грунта на нескольких глубинах, а также уровня воды в реках и селеопасных озерах. Для мониторинга лавин необходи-

мы измерения температуры снежного покрова на нескольких глубинах, а также прирост снега по снегомерным рейкам, расположенным как на метеорологических станциях, так и на значительном удалении от них (по всему лавиноопасному району). Например, на Северном Кавказе существовала снегомерная сеть лавинной службы Росгидромета, которая состояла из сезонных осадкомеров и снегомерных реек, расположенных в крупных долинах и на склонах гор, на среднем расстоянии друг от друга 30 км. Высота реек составляла 5 м. После сильных снегопадов осуществлялись снегомерные пешие и вертолетные маршруты, целью которых было измерение количества выпавшего снега по всей территории Большого Кавказа. Существуют эмпирические номограммы, которые связывают температуру и сумму осадков с вероятностью возникновения лавин и селей в горных районах. Поэтому критические значения этих величин являются явным сигналом для штормового предупреждения. Важнейшее условие таких наблюдений – оперативная передача данных по различным каналам связи в региональное управление гидрометеослужбы, на посты МЧС и т. д.

4. *Изучение статистической структуры полей гидрометеорологических величин.* Это научная задача, направленная на развитие горной метеорологии и усовершенствование качества прогноза погоды в районах со сложным рельефом. Она требует организации густой метеорологической сети в районе, который отражает условия соответствующего горного региона. Измерения организуются в различных горных ландшафтах, на склонах разной экспозиции и в горных долинах, причем расстояние между метеорологическими станциями не должно превышать 5 км (по горизонтальному проложению) и 500 м по вертикали. Набор наблюдаемых величин зависит от поставленной задачи. Как правило, осуществляются измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, суммы осадков. К этому списку основных наблюдений могут быть добавлены измерения температуры почвы на различных глубинах, влажности почвы, составляющих радиационного баланса и т. д.

Специфика метеорологических наблюдений в горных районах связана с большой неоднородностью природных условий по сравнению с равнинными территориями [2,8]. Поскольку источником энергии приземной атмосферы является подстилающая поверхность, неоднородность природных условий приводит к существенным вариациям компонент радиационного баланса, тепла и влагообмена, а следо-

вательно, температуры воздуха, характеристик влажности и других (практически всех) метеорологических величин.

Метеорологическая площадка и прилегающая территория должны целиком находиться в пределах однородной подстилающей поверхности. Эта поверхность должна быть субгоризонтальной – метеорологические наблюдения на крутых склонах (более  $15^\circ$ ), над ущельями, в узких щелях и долинах (шириной менее 100 м) или на гребнях морен не имеют физического смысла. Дело в том, что в условиях сильно пересеченного рельефа невозможно добиться условий измерения метеорологических величин, рекомендованных ВМО. Поэтому большая часть наблюдений в горах проводится в широких горных долинах. Реже наблюдения выполняются на широких перевалах и совсем редко – на плоских вершинах или пологих участках горных склонов. Обеспечение работы полноценной метеостанции со штатом наблюдателей в горных районах является трудоемкой и дорогостоящей задачей. Поэтому в горах целесообразно использовать автоматические метеостанции.

Как было отмечено выше, часто метеорологические наблюдения в горах организуются для детального микроклиматического описания соответствующих природно-территориальных комплексов, с целью изучения тонких особенностей атмосферной циркуляции, теплового баланса различных элементов ландшафтов, в том числе ледников и т. д. Все эти задачи предполагают использование не одной, а нескольких станций.

Если на равнинах пространственные свойства корреляционных функций главным образом определяются направлением преобладающего ветра, то в горах дело обстоит сложнее. Метеорологические поля в горных условиях отличаются значительной анизотропностью [2,8]. Так, в пределах одной долины, в которой, например, действует горно-долинная или фёновая циркуляция, радиус корреляции метеовеличин может достигать 10–20 км, в то время как корреляция с точкой, расположенной в соседней долине, расстояние до которой составляет всего 2–3 км горизонтального проложения, может практически отсутствовать. Важную роль играют доминирующие погодные условия. Например, в перуанских Андах или в горах Кунь-Лунь, где преобладает сухая и малооблачная погода, главным фактором, определяющим изменчивость температуры, помимо местных циркуляционных факторов, является суточный ход. Поэтому ряды метеовеличин, полученные

в точках, расположенных на расстоянии даже 100 км друг от друга, в отдельных случаях могут хорошо коррелировать между собой. Метеорологические условия Альп, Кавказа или Алтая совсем другие – они отличаются большой погодной и сезонной изменчивостью. А значит, расстояния между точками наблюдений должны быть существенно меньшими.

Опыт метеорологических наблюдений в горах показывает, что расстояния между точками наблюдений не должны превышать 20 км горизонтального проложения в том случае, если наблюдения проводятся в крупной горной долине (длиной не менее 100 км), и 1000 м вертикального превышения, если наблюдения проводятся на склоне хребта или горы. Размещать метеорологические станции следует в пределах какого-то одного крупного природно-территориального комплекса, например, макросклона хребта или части горной долины (зона горнотаежных лесов в пределах долины, зона альпийских лугов в пределах долины и т. д.). Наблюдения в горном районе должны проводиться на нескольких таких объектах. Требования к организации метеорологической площадки те же, что и для равнинных наблюдений. Если наблюдения проводятся с помощью автоматической метеостанции, снимаются требования к использованию метеорологических будок, а также огораживанию метеорологической площадки (подробнее см. гл. 2). Однако требования к размерам метеоплощадки, состоянию и однородности подстилающей поверхности, а также к вертикальным уровням измерений сохраняются. Еще раз отметим, что наблюдения на наклонных поверхностях, на границах элементов ландшафтов (берег озера, кромка ледника и т. д.), на сильно неоднородной подстилающей поверхности (крупнообломочный материал) не имеют физического смысла, за исключением определенных задач.

Подробно о требованиях установки АМС, организации соответствующей метеоплощадки речь идет в п. 2.2 главы 2.

## 1.2. Гидрологические наблюдения

### 1.2.1. Общие понятия

Гидрологические работы включают широкий круг наблюдений, измерений и исследований, связанных с изучением гидрологического и гидравлического режимов рек [1,3,8]. В полный перечень гидрологических работ входят:

- водомерные наблюдения (измерения уровня воды, уклонов водной поверхности);
- измерение глубин водного объекта;
- измерение расходов воды и определение зависимости между расходами и уровнями;
- измерение температуры воды на поверхности и на различных глубинах, наблюдения за ледовыми явлениями;
- измерение расходов и определение стока взвешенных и донных наносов;
- измерение скоростей и направлений течений;
- определение коэффициентов шероховатости;
- наблюдения за русловыми деформациями и измерения волнения;
- измерения прозрачности воды и оценка ее цвета;
- гидрохимические измерения и наблюдения;
- гидробиологические измерения и наблюдения.

Помимо этого перечня, отдельно выделяют еще несколько видов работ. Например, комплекс гидрологических наблюдений при строительстве крупных гидроузлов при перекрытии русел, наблюдения на водохранилищах и озерах, имеющие свою специфику и т. д. Из приведенного выше списка первые пять видов гидрологических работ принято относить к основным (водомерные наблюдения, измерение глубин русла, измерения расходов воды, температуры и оценка ледовой обстановки). Эти работы проводятся на государственной гидрологической сети и при всех видах изысканий на реках. Остальные чаще всего относятся к специальным и выполняются только в том случае, если этого требуют изыскания, или на гидрологических станциях (а также постах I разряда). Как правило, полный комплекс гидрологических исследований проводится для удовлетворения потребностей ряда отраслей, среди которых в первую очередь следует отметить гидроэнергетическое строительство, водный транспорт, лесную промышленность

(лесосплав), водные мелиорации, водоснабжение, строительство мостов и переходов коммуникаций, рыбное хозяйство, проекты защиты территорий от наводнений, природоохранные проекты, рекреация [1,11].

Основные гидрологические наблюдения проводятся на постах Государственной гидрологической сети, и их данные поступают в региональные и государственные органы гидрометслужбы. Остальные виды наблюдений, которые выполняются в основном по заказу перечисленных выше отраслей хозяйства, передаются в оперативном режиме только в исключительных ситуациях. Например, в случае химического загрязнения водного объекта соответствующие посты могут оперативно передавать данные о концентрациях химических веществ в воде.

Основные гидрологические измерения должны быть систематическими; и сами наблюдения, и их обработка проводятся по единой методике, рекомендованной наставлениями и методическими указаниями гидрометеорологической службы, с использованием стандартных гидрологических приборов со строго определенной точностью [3,11]. Как и в случае с метеонаблюдениями, это необходимо для сопоставимости результатов измерений.

### **1.2.2. Гидрологические станции и посты.**

#### **Гидрологическая сеть**

Гидрологические наблюдения выполняются в определенной последовательности и в определенное время. Наблюдения проводятся на гидрологических станциях и постах. Гидрологическая станция – это учреждение, имеющее штат сотрудников-гидрологов и вспомогательный персонал. Бывают станции I и II разряда. Часто гидрологические станции совмещены с метеорологическими соответствующего разряда. На гидрологической станции I разряда собирается и анализируется информация о гидрологическом режиме водных объектов в «зоне ответственности» данной станции, осуществляется руководство станциями II разряда и гидрологическими, попадающими в «зону ответственности». Одна из важнейших функций станции I разряда – оперативная передача гидрологических данных заинтересованным организациям, а также в региональные управления гидрометеослужбы. Станции второго разряда производят полевые гидрометрические наблюдения и работы, а также анализ данных, полученных на гидро-

логических постах. Они создаются там, где организация станций I разряда нецелесообразна, однако присутствие постоянного квалифицированного персонала необходимо.

Гидрологические станции делятся на следующие группы:

- стоковые, осуществляющие мониторинг рек с малым и средним водосбором в различных физико-географических условиях (в том числе горных);
- устьевые, выполняющие гидрометрические измерения в устьевой зоне крупных рек;
- озерные, осуществляющие мониторинг озер и водохранилищ;
- болотные, измеряющие и оценивающие все компоненты теплового и водного режима крупных болотных массивов в различных физико-географических условиях;
- снежно-лавинные, осуществляющие снегомерные работы в горах, мониторинг лавин и оценку лавинной опасности.

*Гидрологический пост* – это специально оборудованное в соответствии с международными требованиями место, на котором проводятся гидрологические наблюдения. Гидрологический пост может быть постоянным, сезонным, временным (экспедиционным). На нем обязательно имеется наблюдатель, хотя в условиях автоматизации гидрометеорологических наблюдений все чаще используются автоматизированные посты.

Гидрологические посты бывают I, II и III разрядов. На постах I разряда проводят измерение температуры и уровня воды, ее расхода, наблюдают за ледовой обстановкой и ледовыми образованиями. Также измеряются расходы донных и взвешенных наносов, оценивается степень мутности речной воды и отбираются пробы для гидрохимического анализа. Если гидрологический пост не привязан к метеорологической станции какого-либо разряда, он также осуществляет наблюдения по сокращенной программе. Это так называемый метеорологический пост, в программу наблюдений которого входит только измерение температуры воздуха, определение характеристик влажности, сумм осадков и характеристик снежного покрова. На посту II разряда проводятся наблюдения по программе поста I разряда, за исключением измерения расхода воды, донных и взвешенных наносов и гидрохимического анализа. На постах III разряда наблюдают только за температурой воды, ее уровнем, а также за ледовыми явлениями и

обстановкой. Остальные наблюдения, в том числе метеорологические, не проводятся. Гидрологические посты всех разрядов могут осуществлять оперативную передачу данных наблюдений в определенные сроки. Что касается сроков передачи данных, то здесь нет такой четкой привязки, как в случае метеорологических наблюдений, поскольку гидрологические данные не используются в задачах оперативного прогноза уровней рек и расхода воды. Входными данными для прогноза гидрологического режима рек являются не гидрометрические, а метеорологические данные и результаты их обработки (суточная сумма осадков по водосбору, испарение, влагозапас снежного покрова). Информация об уровне и расходе воды передается два раза в сутки, в период межени (в 8:00 и 20:00 по местному времени), и 3–4 раза в сутки в период половодья или паводков. Фиксированного времени передачи данных нет.

Итак, к обязательным наблюдениям относятся: измерение температуры воды, уровня расхода воды и ледовой обстановки, т. е. обязательной является программа наблюдения поста III разряда. В экспедициях программу работ на каждом гидрологическом посту составляют в зависимости от реальной потребности в тех или иных гидрологических данных, при этом руководствуются типовыми программами наблюдений на гидрологических постах I, II и III разряда. Так, если намечается проводить только водомерные наблюдения, то организуют гидрологический пост III разряда. Если помимо водомерных измерений осуществляются наблюдения за уклоном воды, а также определяются расходы воды и наносов, то соответствующий пост относится ко II разряду. Если в программу наблюдений, помимо основных, входят дополнительные систематические измерения, то организуется пост I разряда.

Обязательные сроки гидрологических наблюдений – 8:00 и 20:00 по местному времени. В случае интенсивных гидрологических явлений (паводок, половодье, ледостав, шугоход, ледоход, ветровой нагон в устьях крупных рек) измерения проводятся чаще – помимо основных сроков еще 3–4 раза, а в отдельных случаях через каждые 2 ч.

Гидрологическая сеть, как и метеорологическая, является важнейшей составляющей гидрометеослужбы. На территории России в настоящее время около 1 тыс. гидрологических постов всех трех классов. Общие проблемы гидрологических наблюдений те же, что у метеорологических (п.1.1.) – пространственно-временная неоднородность. На территории России до сих пор есть огромное количество рек, гидро-



логический режим которых не изучен. Следует, правда, отметить, что неравномерность гидрологической сети не столь большая проблема, как метеорологической. Дело в том, что, во-первых, результаты гидрологических наблюдений не являются начальными и граничными условиями для задачи прогноза погоды. В прогнозе паводков, половодья, а также уровня водохранилищ эти данные, как правило, тоже используются для валидации и оценки результатов прогноза, а не в качестве начальных.

Цель гидрологических измерений – это, во-первых, мониторинг рек, направленный на предупреждение чрезвычайных ситуаций, во-вторых, накопление длиннорядных наблюдений, которые позволяют строить точные кривые расходов, усовершенствовать статистические методы прогнозов и т. д. Кроме того, гидрологические процессы в основном зависят от атмосферных, и успех гидрологического прогноза напрямую связан с точностью среднесрочного прогноза погоды. Еще один упрощающий фактор – большая предсказуемость гидрологических процессов по сравнению с метеорологическими. По этой причине один из самых мощных методов гидрологических оценок и прогнозов – метод аналогов.

### **1.2.3. Организация стандартного водомерного поста**

Для наблюдений за уровнем воды посты устанавливаются в точках, где режим уровней может иметь характерные особенности, например, в местах изменения уклона, резких изменений ширины русла и долины. Кроме того, посты устанавливаются ниже впадения крупных притоков, а также на самих притоках. Выбор места для водомерного поста – достаточно серьезная задача. Подробно этот вопрос освещается в [3,11]. Здесь лишь отметим основные, наиболее важные особенности.

На равнинных реках (или на их равнинных участках) участок для водомерных наблюдений должен быть без поймы. При ее наличии следует выбрать наиболее прямой и узкий участок, с ровным рельефом, без протоков и стариц, лишенный древесной и кустарниковой растительности. Река на участке поста должна протекать единым прямым руслом, без рукавов, островов, осередков, отмелей и т. д. Особенно сложно выполнить эти условия на горных реках. На участке поста русло должно быть устойчивым, т. е. минимально подвергаться размыву, заилению и т. д. Район расположения поста должен находиться за пределами распространения подпора от притоков и искусственных сооружений.

На горных реках к изложенным выше требованиям добавляется обязательное расположение поста выше порогов и водопадов, на относительно спокойном и ровном участке русла, не загроможденном валунами и скальными обломками. Как слишком крутые, так и слишком плоские берега неудобны для организации водомерного поста. Оптимальная крутизна берегов 20–30°. На крупных озерах и водохранилищах при организации водомерной сети необходимо предварительно изучить причины колебаний уровня при различных условиях. Сеть водомерных постов должна располагаться таким образом, чтобы данные измерений на них позволяли оценить средний уровень, в частности при условиях искажения, связанного с ветровыми нагонами, влиянием впадающих и вытекающих рек и т. д.

Следует помнить, что на величину искажения уровня сильно влияет морфологическое строение озерной котловины, изрезанность береговой линии. Таким образом, перед организацией наблюдений на незнакомом и неисследованном озере необходимо провести предварительную рекогносцировку и промер глубин. Если наблюдения на озере (водохранилище) проводились, то нужно ознакомиться с их результатами. Особое внимание при организации водомерного поста следует уделить опасности его разрушения под действием волнового прибоя и ледового припая.

Рекогносцировочные работы при организации водомерного поста подробно описаны в [3]. Они включают в себя следующие этапы.

1. *Общий осмотр водного объекта по схеме, изложенной выше.*

2. *Выявление переменного подпора.* Причиной подпора могут быть естественные колебания уровней воды в притоках, впадающих ниже участка, деформации русла, ледовые заторы, временные стеснения русла обломочным материалом, древесиной, наносами и т. д. Дальность распространения подпора может быть приближенно определена по формуле

$$L = a \frac{h_0 + z}{I}, \quad (1.11)$$

где  $L$  – искомое распространение подпора, в метрах,  $I$  – средний уклон водной поверхности при отсутствии подпора (если на реке не проводились водомерные работы, определяется на месте, методика изложена ниже),  $z$  – величина подпора выше его источника,  $h_0$  – средняя глубина русла при отсутствии подпора.

Зависимость коэффициента  $a$  от соотношения  $z/h_0$  приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3

**Зависимость коэффициента  $a$  от соотношения  $z/h_0$  [3]**

$z/h_0$	5	2	1	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
$a$	0,96	0,91	0,85	0,76	0,67	0,58	0,41	0,24

3. *Топографическая съемка участка реки.* Ее объем зависит от размеров водного объекта и его обеспеченности геодезическими данными, а также от состава наблюдений на открываемом посту. Для большинства гидрологических постов выполняется полуйнструментальная съемка. Для больших рек она является предварительной. Полуйнструментальная съемка включает прокладку планово-высотной основы, нивелировку профилей через реки и промеры глубин, измерение скоростей и направлений поверхностных течений, глазомерную съемку и составление плана (описания) участка. Плановой основой съемки служат речная магистраль и поперечные профили. Границами съемки считаются самые высокие отметки уровня.

Если наблюдения на реке проводились, то эти значения берутся из соответствующих справочников, если не проводились, то определяют в ходе опроса местного населения или людей, хорошо знающих объект (например, инструкторов по туризму или альпинизму, много лет сезонно работающих в районе). Также используются косвенные признаки максимального уровня. Итак, верхняя граница съемки должна быть на 1 м выше максимального уровня. Ширина съемки должна пятикратно превышать ширину реки в межень, в том случае, если она небольшая (менее 100 м). Для широких рек (более 100 м) ширина съемки должна превышать ширину меженного русла в 2–3 раза. На реках с широкими поймами границы съемки устанавливаются в зависимости от морфологических особенностей поймы. Инструментальная топографическая съемка проводится по всей ширине поймы и включает в себя проложение плановой и высотной основ съемки, нивелирование поперечных профилей через долину, промеры глубин, нивелирование мгновенного продольного профиля водной поверхности, мензульную или теодолитную съемку долины.

Каждый водомерный пост должен иметь два репера – основной и контрольный. В том случае, если участок поста находится не далее чем

в 10 км от репера государственной высотной сети, одновременно с вышеозначенными работами выполняется высотная привязка реперов поста. Основной репер привязывают двойным нивелирным ходом IV класса к государственной геодезической сети. Нивелировка ведется от основного репера через контрольный двойным ходом. Расхождение сумм превышений, полученных по прямому и обратному ходу, должно быть не более  $\pm\sqrt{n}$ , где  $n$  – число точек измерения на протяжении одного хода. Если в силу удаленности поста от репера государственной сети или по каким-либо иным причинам нет возможности проводить нивелирный ход, то координаты и абсолютную высоту репера можно определить, используя любую систему спутникового позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) или основываясь на картографическом материале. Однако необходимо понимать, что в этом случае погрешность определения координат водомерного поста может не соответствовать требованиям ГОСТ. Кроме отметок постовых устройств, отмечается высота рабочего уровня, забитого вровень с уровнем воды, а также высоты экстремальных уровней при наличии их отметок. Если пост оснащен самописцем, то необходимо определить уровень столика, на котором находится прибор, а также его приемной части и дна колодца установки. Основной репер следует делать потайным, т. е. забивать вровень с уровнем поверхности, на полметра ниже границы замерзания грунта, из сборных железобетонных элементов – пилона (столба) и якоря-плиты. Все это необходимо для стационарности репера.

4. *Промер глубин водного объекта.* Остановимся отдельно на задаче промера глубин на организуемом гидрологическом посту, поскольку от того, насколько профессионально будет выполнена данная процедура, зависит точность определения расходов воды. Промеры глубин можно выполнять как контактными способами (с помощью наметок, реек), так и дистанционными методами (эхолотом). Способы промера глубин зависят от конкретных условий. Наиболее распространенный метод – промеры вдоль троса, натянутого по поперечным профилям, с использованием лодки. Количество точек измерения глубин зависит от ширины реки и характера дна. Для рек шириной 10 – 50 м берется от 10 (для ровного дна) до 50 (для неоднородного дна) точек. Если ширина реки колеблется в пределах 100–500 м, то берут 20–30 точек в зависимости от неоднородности дна. При ширине реки 500–1000 м берут 40–50 точек промера. Также возможны промеры с моста или со специальной люльки. Промеры могут выполняться с лодки,

при этом координаты точек промера можно определять как с помощью теодолитных измерений с берега, так и с помощью систем спутникового позиционирования. В зависимости от требуемой точности промеры можно выполнять по продольным профилям, поперечным профилям, галсами и смешанным способом.

5. *Определение поверхностных скоростей течения на участке будущего поста* (см. п. 1.2.4).

6. *Опрос местного населения* для выявления особенностей гидрологического режима.

Гидрологические посты гидрометеослужбы снабжаются приборами и оборудованием в зависимости от разряда. Так, на водомерных постах свайного типа должны иметься следующие приборы: рейка водомерная переносная, нивелир, рейка нивелирная, рулетка, уровень, бур ледовый, рейка водомерная максимальная, намётка (для промеров глубин), термометр водный в оправе, термометр-пращ, фонарь, лодка, книжка для записей данных наблюдений.

Открытие гидрологического поста или станции оформляется актом, который составляет представитель гидрометеослужбы в присутствии наблюдателя и представителя органа местной власти. Наблюдателю передается оборудование, перечисленное выше. Обязательные сроки водомерных наблюдений – 8:00 и 21:00 по местному времени. В случае активных гидрологических процессов (половодье, паводок, ледовые явления) частота измерений увеличивается вплоть до 2-часовой дискретности.

#### **1.2.4. Основные гидрологические величины, приборы и их точность. Гидрологические наблюдения**

Гидрологические наблюдения проводятся по строгой методике, рекомендованной Росгидрометом, стандартизированными приборами. Как и в случае метеонаблюдений, существуют стандартизованные ошибки, хотя их пределы существенно более широкие. Это связано с тем, что значительная часть гидрологических характеристик вычисляется пока что приближенно. Упрощенное уравнение водного баланса выглядит как разница между осадками, испарением и так называемыми гидрологическими потерями.

*Гидрологические потери* – это часть стока, не попадающая в русло, т. е. остающаяся в пределах водосбора. Эта влага расходуется на жизнедеятельность растений и животных, на внутренний сток (бес-

сточные озера, болота) и т. д. Измерить величину гидрологических потерь невозможно. Другая важнейшая составляющая – уже метеорологическая величина, осадки. Как было показано в п. 1.1, осадки – одна из самых сложно измеряемых величин. То же самое относится и к испарению. Кроме того, гидрологические наблюдения зачастую связаны с большими техническими сложностями, из-за которых нарушается стандартизованность измерений. Например, измерения расхода на большой и малой реке или на равнинной и горной – совершенно технически разные задачи. А значит, и диапазон погрешности измерений получается разный.

В таблице 1.4 приведены классические методы гидрологических наблюдений, которые опираются на ГОСТ 1972 г. [1,3,11]. В гидрологии так же, как и в метеорологии – активно используются автоматизированные методы измерений.

Таблица 1.4

**Основные гидрологические величины, их точность, и приборы, с помощью которых они измеряются [11]**

Гидрологическая величина	Единица измерений	Гидрологические приборы и методы	Точность измерений
Расход воды	м³/сек	Вертушка ГР-21М	2–5% <sup>1</sup>
		Метод поплавков	5–10%
		Метод смешения	5–10%
		Дистанционные методы	7–12%
Уровень воды	см (сантиметры)	Сваи или водомерные рейки	1 см
Уклон водной поверхности	Угловые градусы	Нивелиры НЗ, НС4, НТ (СССР), Ni 025, Ni 030 (Германия)	Угловая секунда
Температура	°С (градус Цельсия)	Водный термометр	0,1°С

<sup>1</sup> Имеются в виду проценты от истинной величины расхода в точке измерения.

Ниже кратко описана методика измерения основных гидрологических характеристик.

**Измерения уровня воды.** Изучение колебания уровней воды в реках, озерах и водохранилищах имеет как прикладное, так и хозяйственное значение. С одной стороны, строительство мостов, переходов коммуникаций и трубопроводов, гидротехнических сооружений и т. д. невозможно без предварительных гидрометрических оценок. С

другой стороны, количественные оценки изменений уровня являются важнейшим индикатором изменения режима увлажнения большой территории. Кроме того, в гидрометрии оценки уровня имеют важнейшее значение для подсчета стока воды, в основу которого положена связь между высотой уровня и расходом воды в реке, которая обычно устанавливается эмпирически. Измерение расхода воды – трудоемкая и достаточно длительная операция, в то время как измерение уровня проводится сравнительно легко и быстро, зачастую автоматически. Установленная на основе сравнительно небольшого числа (от нескольких месяцев до одного года) одновременных измерений уровней и расходов эмпирическая зависимость  $Q = f(H)$  позволяет определять ежедневные расходы воды и подсчитать сток за любой интересующий период времени.

Различают три главнейшие фазы водного режима: половодье, паводки и межень. Для большинства рек Северной и Центральной Евразии, в том числе для Алтае-Саянского региона, зимний период (с середины октября по середину апреля) характеризуется меженивым уровнем, вторая половина апреля – май – половодьем, июнь – сентябрь – межень, осложненная паводками, связанными с обильными осадками в виде дождя, а также интенсивным таянием снега и льда в высокогорных районах во время аномально теплой погоды. На эти основные элементы сезонного хода уровней накладывается суточная изменчивость, которая особенно выражена на горных реках с ледниковым питанием (из-за суточного хода таянья).

По конфигурации устройства, предназначенные для наблюдения за уровнем воды на гидрологических постах, подразделяются на речные, свайные, речно-свайные, передаточные и автоматизированные. Речные посты состоят из одной или нескольких деревянных или металлических реек, укрепленных на стенках набережных, устоях мостов и плотин. На неукрепленных берегах рейка устанавливается на специально забитых одиночных сваях. Глубина забивки рейки должна быть не менее 2 м. Из-за недолговечности деревянных реек им предпочитают обычно чугунные. Отчет снимается в сантиметрах, с точностью 2 см. Вблизи отлогих берегов устанавливают наклонные рейки. Они особенно удобны на бетонных откосах или лестничных спусках. Разметка такой рейки проводится в зависимости от угла ее наклона к горизонту. Если цена деления по вертикали равна  $h$ , то длина одного деления наклонной рейки составляет  $l = h/\sin\alpha$ .

Наибольшее распространение получили свайные устройства. Они наиболее удобны на равнинных реках при значительной амплитуде колебаний уровня воды и сравнительно отлогих берегах. Свайное устройство состоит из ряда свай, забитых в одном створе по нормали к направлению течения (рис. 1.10, а). Сваи можно изготавливать из любого материала. На гидрологических постах гидрометеослужбы используются серийно изготавливаемые сваи ПИ-20, которые состоят из чугунного винта, металлической трубы и головки (рис. 1.10, б). Труба заполняется битумом, а все части скрепляются заклепками. Длина сваи 2,2 м. В грунт свая завинчивается специальным ключом так, чтобы над поверхностью земли возвышалась только ее головка. После установки сваи окрашиваются и нумеруются по порядку – от контрольного репера вниз, начиная с верхней. Высота уровня воды на свайных устройствах измеряется переносными рейками, которые ставятся на штырь деревянной или головку металлической сваи, ближайшей к берегу из числа затопленных. Переносные рейки размечаются через 1 см. Они могут быть деревянными (брусок ромбического сечения длиной 1,1 м), но чаще применяются металлические рейки, например ГР-104 (дюралюминиевая трубка диаметром 25 мм с деревянной ручкой). Кроме обычных реек, на постах устанавливают так называемые максимальные рейки, предназначенные для измерения наивысших уровней между сроками наблюдений.

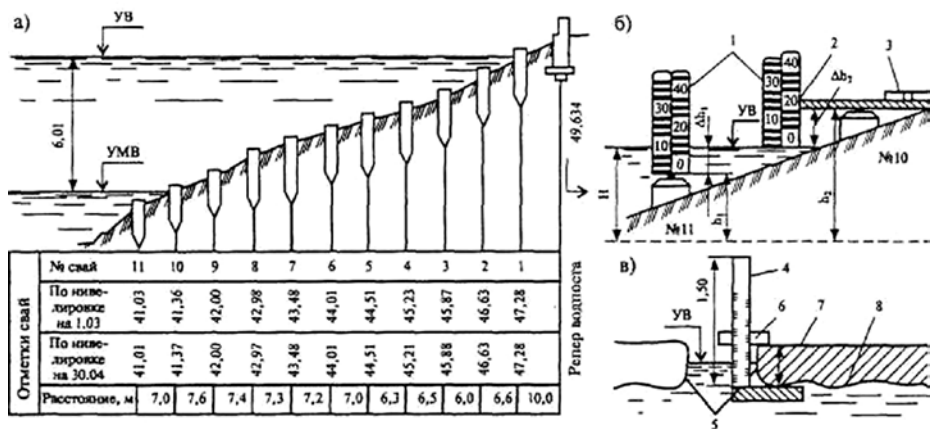


Рис. 1.10. Устройство водомерных постов: а) свайного, б) речного



Также используются смешанные речно-свайные устройства и самописцы. Измерения уровня воды самописцами удобно выполнять, в частности, на горных реках (см. п.1.2.5).

Наблюдения за уровнем воды ведут два раза в сутки – в 8:00 и 20:00 по местному времени. При резких изменениях уровня во время половодья или паводка их проводят чаще, иногда каждый час. На реках с резкими суточными колебаниями уровня рекомендуют устанавливать самописцы уровня. Результаты наблюдений за уровнем воды представляют в виде графика, который составляют для годового цикла.

**Измерение уклонов водной поверхности.** Определение уклона водной поверхности выполняется с помощью геодезического нивелирования. Вообще говоря, установке гидрологического поста всегда предшествует большой комплекс геодезических работ, направленный на точное измерение параметров русла реки и ее долины в районе поста [11]. Определение уклона водной поверхности выполняется систематически – в период паводка и половодья ежедневно, в период межени – ежемесячно. На уровне водной поверхности вбиваются уровенные колья. Разница высот между кольями, измеряемая с помощью стандартного нивелира, и дает значение угла уклона. Систематические наблюдения за уклоном водной поверхности производят для уточнения зависимости между расходами и уровнями воды.

**Наблюдения за ледовой обстановкой.** Отдельно рассматривают ледовый режим рек, в котором выделяют четыре типа:

- ледообразование без ледостава (горные реки Кавказа, Средней Азии, Алтая);
- неустойчивый ледостав (реки Калининградской области, равнинных районов Южного федерального округа);
- устойчивый ледостав (реки центральной и северной части Европейской России, Западной Сибири, южных районов Красноярского края, Иркутской области, Забайкалья, Дальнего Востока);
- перемерзание и наледи (реки центра и севера Восточной Сибири, Якутии, Колымы, западных районов Чукотки и Магаданской области).

Стандартные наблюдения за ледовой обстановкой включают наблюдения за сроками появления льда, установления ледостава, вскрытия и очищения рек ото льда, видами ледяных образований и ледовых

явлений, степенью покрытия льдом водной поверхности в периоды замерзания и вскрытия, ледоходом в периоды замерзания и вскрытия, образованием внутриводного льда (шуги), состоянием ледяного покрова, толщиной льда и снежного покрова на льду, включая ледомерные съемки участка.

Маршрутные обследования ледовой обстановки проводятся в районе поста, чтобы определить, как она меняется по длине реки в периоды замерзания и вскрытия. При обследовании ведут описание и зарисовки, картирование ледяных образований, а также фотографирование. В описании отмечают густоту ледохода и шугохода следующим образом:

- ледоход (шугоход) редкий – густота движущегося льда (шуги) составляет 0,3 от площади поверхности реки;
- ледоход (шугоход) средний – густота движущегося льда (шуги) составляет 0,4–0,6 от площади поверхности реки;
- ледоход (шугоход) густой – густота движущегося льда (шуги) составляет более 0,6 от площади поверхности реки.

Измеряя количество шуги с помощью шугобатометра, а также оценивая коэффициент ледохода, можно определить расход льда и шуги. Как правило, это важно при оценке давления на суда, опоры мостов, переходов и гидротехнических сооружений [3,11].

В состав ледовых наблюдений также входят измерения толщины снега на льду, общей толщины льда, глубины погружения льда, глубины погружения шуги, толщины слоя воды на льду. Толщину снега на льду и самого льда измеряют переносными рейками с погрешностью 1 см. Для измерения толщины льда в намеченных точках сверлят отверстия ледовым буром или пробивают лунки пешней.

**Определение расхода воды.** Расходом воды называется величина, характеризующая объем воды, протекающий за единицу времени через поперечное сечение речного русла. Величина расхода воды получается путем синтеза его измеряемых элементов – глубины русла (см. выше), его ширины и скоростей течения вдоль продольного профиля. Можно выделить следующие основные методы определения расхода воды:

- метод «скорость–площадь», основанный на измерении поперечного сечения потока и скоростей течения в точках или интегрально на вертикалях, в отсеках и по ширине русла;

- метод «ионного паводка», основанный на определении степени разбавления солей (или других химических веществ), помещенных в водный поток по мере его движения;
- гидравлические методы, реализуемые с помощью специальных расходомерных устройств и характеристик пропускной способности гидротехнических сооружений и турбин ГЭС;
- объемный метод, основанный на фиксации времени наполнения мерных емкостей;
- дистанционные методы, основанные на применении ультразвука, электромагнитной индукции и т. д.

Систематические оценки расходов воды на гидрологических постах служат для определения ежесуточных объемов стока воды, для анализа его внутригодового распределения, определения максимальных и минимальных расходов, а также проводятся в рамках мониторинга крупных рек с целью предупреждения об опасных гидрологических явлениях, для накопления многолетних рядов величин речного стока, который является важнейшим климатическим индикатором. Расходы воды на гидрологических постах определяются таким образом, чтобы их результаты охватили весь спектр колебаний уровней. Это необходимо для построения кривой расходов и последующего вычисления стока воды. При установлении частоты и сроков измерения расходов придерживаются следующих рекомендаций гидрометеослужбы [11]: 1) в весеннее половодье расход измеряется через равные интервалы уровней 4–5 раз в сутки на подъеме уровня и 7–8 раз на спаде; 2) в устойчивую межень делают одно измерение в сутки, а во время дождевых паводков – два-три измерения за сутки; 3) в зимнюю межень при устойчивом и длительном ледоставе расход воды измеряется один раз в 2 недели. Четких временных сроков измерения расходов воды не существует. Строго говоря, измеряются не расходы воды, а скорости течения, которые затем так или иначе умножаются на площадь сечения русла – она, как указывалось выше, определяется по результатам промеров дна и геодезической съемки параметров русла и долины. На гидрологических постах расходы воды измеряются несколькими способами. В рамках данного пособия мы подробно изложим только лишь метод «скорость–площадь», позволяющий наиболее точно измерить скорость течения.

***Измерение расхода методом «скорость–площадь».*** Этот метод основан на измерении скоростей течения с помощью гидротрических вертушек. Существует большое количество гидротриче-

ских вертушек. Они различаются по ряду признаков: направлению оси вращения ротора (горизонтальное, вертикальное), устройству лопастного винта или ротора, устройству контактного и счетного механизма, способу опускания в воду. На гидрологических постах бывшего СССР чаще всего использовалась гидрометрическая вертушка ГР-21М. Она имеет лопастной винт диаметром 120 мм, обладающий хорошими компонентными свойствами. В настоящее время можно использовать любую гидрометрическую вертушку, точность которой соответствует таблице 1.4. Вертушка крепится на штангу и на трос с грузом, затем помещается в воду так, чтобы ее ось была перпендикулярна направлению створа. Принцип работы любой гидрометрической вертушки – взаимодействие потока и прибора.

При определении скорости используется зависимость между числом оборотов лопастного винта (ротора) в секунду и скоростью течения. В идеальном случае, т. е. при отсутствии трения и вязкости в жидкости, указанная зависимость выражается простым уравнением:

$$u = k_2 n, \quad (1.12)$$

где  $u$  – скорость течения,  $n$  – число оборотов винта в секунду,  $k_2$  – геометрический шаг винта, равный шагу винтовой линии, совпадающий с внешней кромкой лопасти.

Практически зависимость числа оборотов винта в секунду от скорости течения имеет более сложный вид из-за наличия гидравлических и механических сопротивлений. В общем виде уравнение зависимости выглядит так:

$$u = an + \sqrt{bn^2 + c} \quad (1.13)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры, определяемые для каждого из приборов в поперечных каналах.

В итоге, как и в случае с метеорологическими приборами, к каждой гидрометрической вертушке прилагаются график и таблица зависимостей числа оборотов винта от скорости.

Измерение скоростей осуществляется на разных глубинах для того, чтобы оценить среднюю скорость течения, а также скорость течения в разных точках русла. При устойчивом русле промеры глубин проводятся одним ходом, обычно перед измерением скорости течения. На изученных створах при условии, что русло не деформируется, глубины можно определять через три-пять измерений расхода воды, т. е. во

время половодья глубины придется промерять ежедневно, а во время летней межени – примерно один раз в пять дней. Для промежуточных расходов используются данные предыдущего промера с учетом разности уровней при промере и при измерении расхода воды. Промерные вертикали намечаются через равные расстояния в количестве 20–35. При неровном, загроможденном валунами русле количество промерных вертикалей увеличивается до 40–50.

Прежде чем приступить к измерению скоростей, определяют рабочую глубину вертикали, относительно которой рассчитываются глубины погружения вертушки в точках. Рабочей глубиной вертикали при свободном ото льда русле считается расстояние от дна до поверхности воды, а при наличии льда (шуги) – расстояние от дна до нижней поверхности льда (шуги). Измеренная рабочая глубина сравнивается с глубиной, полученной при промерах (см. выше). Если русло устойчивое и высота уровня воды не изменяется, то разница в глубинах не должна превышать удвоенной погрешности измерений (4–10 см). После определения рабочей глубины намечают положения точек.

Измерение расхода воды выполняется с лодки вдоль натянутого троса. При многоточечном способе измерения скоростей в русле, свободном ото льда или растительности, измерение скорости проводят в пяти точках по вертикали, при условии, что рабочая глубина в 10 раз больше диаметра лопастного винта. Измерения выполняют у поверхности воды  $u_n$  (не менее чем в 0,15 м от поверхности, чтобы избежать влияния ветрового волнения, колебаний от плывущих по поверхности реки тел) на 0,2; 0,6; 0,8 рабочей глубины, и у дна  $u_0$  (не менее чем в 0,15 м от дна, чтобы избежать искажений, связанных с наличием донных гряд речных наносов, тел, лежащих на дне, и т. д.). В этом случае формула для определения средней скорости воды  $v_g$  на каждой из вертикалей будет следующей:

$$v_g = 0,05u_n + 0,347(u_{0,2h} + u_{0,6h}) + 0,173u_{0,8h} + 0,083u_0 \quad (1.14)$$

где  $u_n$  – поверхностная скорость течения;  $u_{0,2h}$ ,  $u_{0,6h}$ ,  $u_{0,8h}$  – скорости течения на различных глубинах (0,2; 0,6; 0,8 рабочей глубины),  $u_0$  – придонная скорость.

Если в русле присутствует растительность или оно закрыто ледовым покровом, к пяти указанным точкам прибавляют шестую, на 0,4 рабочей глубины. Тогда формула для определения средней скорости будет выглядеть так:

$$v_g = 0,1(u_n + 2u_{0,2h} + 2u_{0,4h} + 2u_{0,6h} + 2u_{0,8h} + u_o) \quad (1.15)$$

В исключительных случаях проводят одноточечные измерения скорости на уровне 0,6 рабочей глубины в свободном русле и 0,5 при наличии льда или растительности. В этом случае средняя скорость приближенно определяется как

$$v_g = Ku_{0,5h}. \quad (1.16)$$

В этом случае эмпирический коэффициент  $K$  берется приближенно равным 0,9.

Средняя скорость  $v_s$  в отсеке между скоростными вертикалями вычисляется как полусумма полученных на них значений  $v_i$  и  $v_j$ . Для прибрежных отсеков водного сечения (от уреза воды до первой скоростной вертикали и от последней скоростной вертикали до уреза воды) средняя скорость принимается равной таковой на ближайшей к берегу вертикали, умноженной на коэффициент  $K$ , значения которого берутся в зависимости от характера берега следующими:

- пологий берег с нулевой глубиной на урезе – 0,7;
- естественный обрывистый берег – 0,8;
- гладкая бетонная или деревянная стенка – 0,9;
- наличие мертвых (застойных) пространств – 0,5.

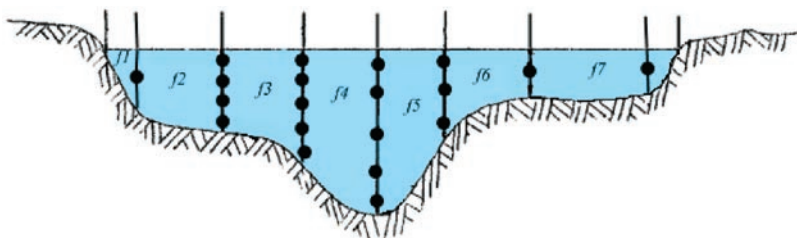
В итоге частичные расходы  $q_s$  находят как произведения  $v_s q_s$ , а полный расход  $Q$  как сумму частичных расходов:  $\sum_{s=1}^N Q_s$ . Таким образом, исходя из вышесказанного, расчетная формула для полного расхода через все «живое» сечение (рис.1.11) приобретает следующий вид:

$$Q = K_1 v_1 f_1 + 0,5(v_1 + v_2) f_2 + \dots + 0,5(v_{n-2} + v_{n-1}) f_{n-1} + K_n v_{n-1} f_n, \quad (1.17)$$

где  $K_1, K_n$  – коэффициенты, учитывающие трение потока о берега в зависимости от их типа. Значения этих коэффициентов приведены выше;  $v_1, v_2, \dots, v_{n-1}$  – скорости течения на различных участках сечения русла;  $f_1, f_2, \dots, f_{n-1}, f_n$  – площади частичных сечений русла.

Значения расходов воды округляются следующим образом:

- при  $Q > 1000 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- при  $1 \text{ м}^3/\text{с} < Q \leq 1000 \text{ м}^3/\text{с}$  до трёх значащих цифр;
- при  $0,1 \text{ м}^3/\text{с} < Q \leq 1 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- при  $Q < 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ .



**Рис.1.11.** Пример измерения скоростей вдоль сечения реки для определения расхода: черные вертикальные линии – вертикали для измерений скоростей течения, черные кружки – уровни измерений (как правило, вблизи поверхности, вблизи дна, и на 0,2, 0,6, 0,8 глубины),  $f_1, f_2, \dots, f_n$  – площади частичных сечений русла, ограниченных дном реки, водной поверхностью и вертикалями для измерений скоростей

Кроме описанных методов, можно также измерять скорость интеграционным способом – путем плавного, но достаточно быстрого погружения вертушки вдоль рабочей глубины и определения числа оборотов за период погружения. В этом случае получают интегральную скорость по всей толще потока.

***Измерение расхода с помощью поверхностных поплавков.***

Этот метод применяется при рекогносцировочных работах на реках, а также в периоды ледохода и шугохода, когда измерения вертушкой или затруднены, или даже недопустимы по правилам техники безопасности. Суть метода в определении средней скорости течения по нескольким поплавкам. Поплавки должны быть пенопластовыми, измерения проводятся при скоростях ветра менее 3 м/с. Следует отметить, что точность поплавокных измерений расхода воды намного ниже, чем измерений с помощью вертушки.

Для измерения расхода с помощью поплавков выбирается прямолинейный участок реки с однообразными глубинами, шириной и продольным уклоном водной поверхности на протяжении трех-пятикратной ширины реки. По берегу параллельно основному направлению течения прокладывается магистраль, перпендикулярно к ней разбиваются три створа: верхний, средний, нижний. В 10 м выше от верхнего створа организуют пусковой створ, с которого осуществляется пуск 15–20 поплавков. Отмечая время прохождения от верхнего до нижнего створа, определяют скорость поверхностного течения поплавков. Поплавки необходимо погружать равномерно по всей ширине русла. Умножая площади отсеков между скоростными вертика-

лями на полусумму поверхностных скоростей, получают частичные фиктивные расходы  $Q_{\phi}$ . Их сумма с учетом краевых коэффициентов  $K$ , приведенных выше, дает общий фиктивный расход воды  $Q_{\phi}$ . Фиктивным он называется потому, что получен по данным о поверхностных скоростях и завышен по сравнению с действительным расходом  $Q$ :

$$Q = KQ_{\phi} \quad (1.18)$$

где  $K$  – переходный коэффициент, для которого рекомендована следующая зависимость:

$$K = 0,77 + 0,043\sqrt{\tilde{C} - 3,8}, \tilde{C} = C/g \quad (1.19)$$

где  $C$  – коэффициент Шези [11],  $g$  – ускорение свободного падения.

Наиболее точно переходный коэффициент  $K$  определяется по данным детальным измерениям расходов воды в каждом конкретном створе. Подобные измерения рекомендуется выполнять в характерные фазы режима по всей амплитуде колебаний уровней  $H$ , чтобы получить зависимость  $K(H)$ , которая затем должна использоваться при плавочных наблюдениях.

**Измерение расхода способом смещения.** Этот метод используется на бурных реках. Он основан на определении скорости перемешивания раствора-индикатора (как правило, поваренной соли) с помощью измерения электропроводности. Чаще всего этот метод применяется на горных реках, поэтому подробно изложен в п. 1.2.4.

**Измерение температуры воды.** Важнейшей гидрологической характеристикой является температура воды. В реках температура обычно измеряется два раза в сутки. Особенно важны измерения температуры водохранилищ и озер, поскольку от термического режима напрямую зависят биологические и химические процессы в водоемах. В горноледниковых озерах температурный режим важен с точки зрения селевой опасности. Температура воды обычно измеряется два раза в сутки – на поверхности воды и на нескольких глубинах (0,25; 0,5; 1; 2; 3 м). Число вертикальных уровней определяется глубиной водоема. Глубже уровня 10 м измерения обычно проводятся через 2 м, а глубже 25 – через 5 м.

### 1.2.5. Специфика гидрологических измерений в горах

Главные отличительные черты горных рек – большие уклоны русла, его пространственная неоднородность, а также высокая скорость течения. Гидрологические наблюдения в горах, как правило, связаны



с оценками объема талых ледниковых вод, которые являются важнейшим показателем абляции, а также с оценкой реакции гидрологического режима рек на осадки. В силу большой изменчивости гидрологических характеристик в горных реках методика их наблюдений существенно отличается от равнинной. Она включает:

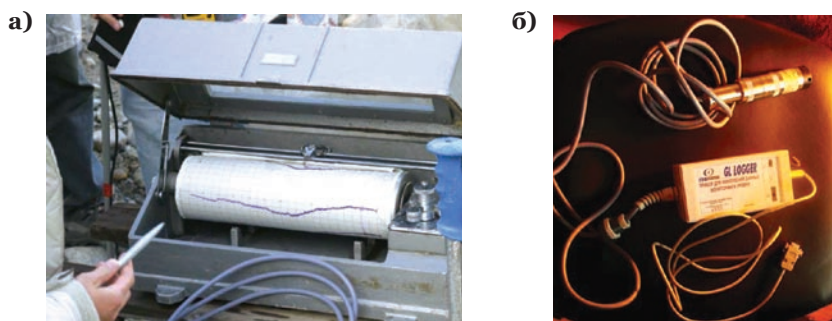
- непрерывное (желательно хотя бы ежечасное) наблюдение за уровнями воды с помощью самописца;
- измерение расхода воды методом ионного паводка;
- построение эмпирической зависимости расхода воды от уровня в горной реке для пересчета среднего за час объема стока.

При «классических» гидрологических наблюдениях, не предполагающих использование автоматического оборудования, непрерывное наблюдение за уровнем воды проводится одновременно с помощью двух самописцев: АДУ-02 (производство компании «Геолинк») и «Валдай».

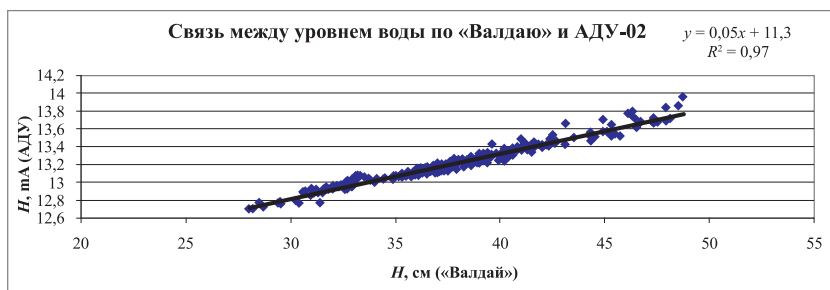
Самописец уровня воды «Валдай» – традиционный прибор, используемый для непрерывной записи уровней воды (рис 1.12, а). Принцип действия самописца механический. Контактной частью прибора является поплавков с грузом. Этот поплавок имеет противовес, и как маятник надет на шкиф. Диаметр шкифа отвечает за масштаб записи на ленту «Валдая». Существуют четыре масштаба: 1:1, 1:2, 1:5 и 1:10. Шкиф с помощью специального механизма неподвижно соединен с барабаном, на котором закреплена лента. Внутри «Валдая» имеется часовой механизм. К этому механизму прикреплен трос, на который с помощью винта крепится перо с чернилами. При заводе механизма груз, закрепленный на другом конце троса, поднимается. Постепенно груз отвисает и двигает перо с чернилами, ведущее запись.

Действие прибора АДУ-02 (рис. 1.12, б) основано на измерении давления столба жидкости над датчиком. Уровень воды измеряется с точностью до 1 см. Полученные данные записываются на логгер, причем с помощью прилагающегося программного комплекса можно самостоятельно устанавливать частоту измерения уровня воды, период осреднения и период записи в архив. Для считывания данных необходимо подсоединить прибор через специальный шнур (входит в комплект) к компьютеру и перенести на него записи с архива логгера на компьютер с помощью того же программного комплекса. В памяти прибора может храниться около 1300 измерений. При заполнении логгера последующие данные записываются поверх старых.

В 2008 г. группа гидрологов ледникового отряда географического факультета МГУ на леднике Джанкуат (Приэльбрусье, Северный Кавказ) определила на практике возможность использования прибора АДУ-02 для автоматизированного измерения уровня воды. Прибор был установлен одновременно с самописцем «Валдай». Сравнение результатов, полученных с помощью этих двух приборов (рис. 1.13), показывает адекватность измерений АДУ-02. Незначительный разброс точек, вероятно, связан с ошибкой определения ежедневного начального уровня воды по рейке, что необходимо для расшифровки лент «Валдая».



**Рис 1.12.** Самописцы уровня воды : а) «Валдай» ; б) АДУ-02



**Рис 1.13.** Связь между уровнями воды, полученными с помощью «Валдая» (в сантиметрах) и АДУ-02 (в метрах)

Расходы воды в горных реках измеряются методом ионного паводка. Метод основан на сохранении отношения объемов и концентраций при растворении одного объема вещества определенной концентрации в другом, т.е

$$C_1V_1 = C_2V_2, \quad (1.20)$$

где  $V_1, V_2$  – объемы раствора;  $C_1, C_2$  – концентрации раствора.

При измерении расхода воды методом ионного паводка в емкости известного объема (например, в 10-литровое ведро) растворяется какая-либо соль (обычно одна пачка поваренной соли, NaCl), после тщательного перемешивания измеряется электропроводность полученного раствора. Весь раствор сразу выливается в реку в область стержня. Ниже по течению, на расстоянии, необходимом для полного перемешивания вещества в потоке реки, непрерывно измеряется электропроводность. Расстояние перемешивания зависит от размеров реки. Для ручья Джанкуат, ширина которого составляет в среднем 10 м, достаточно 100 м расстояния. В начальный момент времени (т. е. в момент выливания раствора) обязательно фиксируется фоновая минерализация реки. Измерения электропроводности проводятся любым кондуктометром, например кондуктометром Christian Berner AB «WTW LF 95». Дискретность измерений – 3 с. Кондуктометр крепится на длинный шест для того, чтобы вынести его как можно дальше от береговой линии при измерениях. Если условия позволяют, в спокойной прибрежной части русла желательно соорудить прочный мосток, выдающийся в русло на 2–3 м (рис. 1.14). Это позволит выполнить измерения как можно дальше от берега. В случае узкого ручья Джанкуат мосток просто перекидывается через русло.

а)



б)



**Рис. 1.14.** Измерение расхода воды методом ионного паводка: а) гидрологический пост на горной реке; б) кондуктометр Christian Berner AB «WTW LF 95»

Таким образом, в нашем случае связь между объемом воды и ее электропроводностью выглядит так:

$$V_p \chi_p(t) = V_b \chi_b \quad (1.21)$$

где  $V_p$  – объем измеряемой воды,  $V_b$  – объем воды в емкости с раствором,  $\chi_p(t)$  – изменение электропроводности воды в реке во времени,  $\chi_b$  – электропроводность воды в емкости с раствором.

$$Q_p = \frac{V_b \chi_b}{t \chi_p(t)} \quad (1.22)$$

где:  $Q_p$  – искомый расход воды в реке,  $V_b$  – объем воды в емкости с раствором,  $\chi_b$  – электропроводность воды в емкости с раствором,  $\chi_p(t)$  – изменение электропроводности в реке во времени, представляющее собой форму паводка с резким подъемом и плавным спадом,  $t$  – время.

Если построить график по измеренным значениям электропроводности, отложив по оси абсцисс время, то площадь под графиком, ограниченная снизу значением фоновой электропроводности, будет равна  $t \chi_p(t)$ . Расчет площади под графиком можно проводить с помощью программ Arc View и Arc Map.

Для получения искомого гидрографа расхода воды с временным шагом 1 час необходимо определить зависимость между расходами  $Q$  и уровнями воды  $H$ . Кривая  $Q(H)$  строится по точкам измеренных расходов воды в момент известного уровня воды. Измерения расхода воды при этом необходимо производить в разные фазы суточного колебания уровня (т. е. при подъеме воды, во время прохождения максимума, на спаде уровня воды и во время пониженной водности). Общее число точек должно быть не менее 20–30. Периодически, в связи с возможными русловыми деформациями и, следовательно, изменением зависимости  $Q(H)$ , необходимо проводить повторные измерения.

Основа питания горной реки, как правило, талая ледниковая вода. Поэтому расход воды обычно имеет ярко выраженный суточный ход. Это означает, что число измерений расхода в течение суток должно быть не меньше 3 – через 2–3 часа после восхода солнца, около истинного полдня и в предзакатные часы. Точной временной привязки данный метод не требует. В сочетании с непрерывной фиксацией уровня с помощью самописца это даст достаточно верную картину гидрологического режима горной реки.

## 1.3. Гляциологические наблюдения

### 1.3.1. Основные понятия

Из всех видов гидрометеорологических наблюдений гляциологические не являются оперативными, т. е. не используются для прогноза погоды и стока. Само по себе понятие «гляциологическая сеть» является условным – в мире существует всего несколько десятков горных ледников, на которых выполняются исследования. Кроме того, гляциологические работы ведутся в нескольких точках покровного оледенения Антарктиды и Гренландии. Главная задача гляциологических измерений несколько отличается от метеорологических и гидрологических. Они преследуют две цели. Первая – исключительно научная – представляет собой оценку отклика баланса массы ледников на изменения климата и использование ледниковых бассейнов в качестве индикаторов меняющихся климатических условий. Вторая – прикладная – связана с оценкой изменений запасов законсервированной пресной воды в горных районах, а также изменений экологических условий, связанных с динамикой оледенения. Для некоторых горных территорий и стран, расположенных в засушливых местностях (Перу, Чили, Киргизия, Таджикистан и т. д.), это задачи стратегической важности. Например, все реки Перу на 80% питаются тальми ледниковыми водами и лишь на 20% – дождевыми. Быстрое сокращение объемов горного оледенения этого региона может обернуться катастрофой. Для Кавказа и Алтае-Саянского региона, где за год выпадает в среднем 450–500 мм осадков на равнинной части и 1000–1200 мм в горных районах, эта проблема стоит не так остро. Однако и в этих горных районах сокращение запасов законсервированной пресной воды очень неблагоприятно сказывается на экологической обстановке, а также на их экономическом (прежде всего гидроэнергетическом и рекреационном) потенциале.

В данном пособии под гляциологическими наблюдениями понимаются измерения, которые проводятся на горных ледниках (хотя, как отмечалось выше, наблюдения выполняются и на покровных ледниках). Ключевое понятие гляциологического мониторинга – *репрезентативность ледника*. Репрезентативным называется тот ледник, морфометрические свойства которого являются типичными для соответствующего горно-ледникового региона. Так, на Центральном Кавказе репрезентативным является ледник Джанкуат, на Тянь-Шане – ледник Туок-су, на Памире – ледник Абрамова, на Алтае – ледник Малый Актру и т. д.

### **1.3.2. Основные методы гляциологических наблюдений**

Методам гляциологических исследований будет посвящено отдельное пособие, поэтому здесь мы не будем подробно останавливаться на их описании. Кроме того, эти методы подробно описаны в [8]. Однако учитывая то, что гляциологические измерения, во-первых, напрямую связаны с гидрометеорологическими (в смысловом плане они даже являются их частью), а во-вторых, отчасти переходят на автоматизированный режим, мы все же коротко перечислим основные направления гляциологических исследований.

Гляциологические наблюдения включают в себя [8]:

- измерения поверхностной скорости течения льда;
- измерения температуры ледовой толщи;
- измерения вертикальной мощности ледника и восстановление подледного рельефа;
- снегомерную съемку в области аккумуляции;
- измерения абляции снега и льда;
- измерения плотности снега в морфологических шурфах.

Эти наблюдения позволяют оценить баланс массы ледника, который является главным результатом гляциологических наблюдений.

## **Автоматическое оборудование для полевых гидрометеорологических наблюдений**

### **2.1. Использование автоматических метеостанций**

#### **2.1.1. Общие принципы устройства автоматической метеостанции**

Последние 20 лет наблюдается бурное развитие методов метеорологических наблюдений, основанных на использовании автоматических метеостанций (АМС). Условно оборудование автоматических метеорологических станций можно разделить на 3 блока: 1) регистрирующие датчики (термометры, гигрометры, осадкомеры, барометры и т. п.); 2) устройства, принимающие, хранящие и передающие данные; 3) оборудование энергообеспечения.

Рассмотрим каждый из этих блоков отдельно.

1. *Первый блок оборудования* включает в себя все метеорологические приборы АМС. Регистрирующие датчики АМС основаны на измерении характеристик электрического тока (чаще всего сопротивления), которые меняются в зависимости от изменений температуры, влажности, скорости ветра и т. д. Так, измерения температуры и влажности основаны на измерениях сопротивления металлов в различных термических условиях, измерение скорости ветра – на измерении силы тока, который вырабатывается вращающимся анемометром, измерение суммы осадков – на взвешивании массы жидкой воды, накопившейся в осадкомерном ведре и т. д.

2. *Второй блок оборудования* любой АМС включает устройства, принимающие, хранящие и передающие данные метеорологических измерений. В виде электрических сигналов данные поступают в накопитель информации, который принято называть «дата-логгер» (от англ. data-logger). Через него же осуществляется настройка метеостанции – установка частоты измерений, выдача интересующих параметров и т. д. Практически все современные АМС имеют собственное программное обеспечение, которое можно устанавливать на персональном компьютере. Такие программные пакеты позволяют визуа-

лизировать информацию, сохранять ее в удобном формате, а иногда выполнять простейшую статистическую обработку.

3. *Третий блок оборудования* отвечает за энергообеспечение АМС. Несмотря на то что качество измерений не зависит от качества энергоблока, его эффективность чрезвычайно важна. Дело в том, что АМС в первую очередь актуальны для работы в труднодоступных полевых условиях. Поэтому эффективность энергоблока определяет надежность и длительность работы АМС. Чаще всего используются литиевые аккумуляторы и солнечные батареи. При этом любая АМС может работать и от электрической сети. Для этого к комплексу АМС прилагается сетевой адаптер, поскольку диапазон значений напряжения, при котором работают датчики АМС, колеблется в пределах 9–40 В.

Сегодня в мире существуют десятки производителей АМС, в том числе и в России. Вот только некоторые из них: Aanderaa Data Instruments, Campbell Scientific, DAVIS Data Instruments, VAISALA, НОВО. Конкретные характеристики и конфигурации автоматических станций зависят от решаемых ими задач, однако обычно они включают датчики для наблюдений за атмосферным давлением, температурой воздуха и/или почвы, влажностью воздуха, ветром и осадками.

Ограничениями при установке АМС являются местные природные особенности (суточная, сезонная, годовая изменчивость метеорологических характеристик), а также энергоемкость и надежность источников электрического питания. Необходимо также учитывать доступность и посещаемость территории.

Современные регистрирующие датчики характеризуются довольно высокой надежностью и долговечностью, в случае выхода из строя они легко заменяются. Перед началом работы необходимо ознакомиться с их техническими особенностями и калибровочными шкалами, которые поставляются совместно с ними. Это связано с тем, что снимаемые показания имеют поправки в определенных диапазонах, обычно указываемые в технических спецификациях. Для традиционных метеорологических приборов также существуют поверочные данные, которые учитываются при измерениях. Поэтому желательно в тестовый период проводить измерения как при помощи автоматического оборудования, так и традиционными метеорологическими приборами, прошедшими поверку. В этом случае можно будет вычислить поправочные коэффициенты, которые позволят либо уменьшить ошибку/погрешность измерений, либо вообще избежать ее.



Еще одним важным отличием является то, что с помощью «традиционных» приборов (основная часть их описана в гл. 1), показания которых снимает наблюдатель и записывает в специальную книжку КМ-1, проводить измерения чаще, чем один раз в 30 мин., практически невозможно. И даже если обеспечить такую временную частоту измерений, то на каждой станции должно присутствовать не менее четырех наблюдателей (для эффективной посменной работы). Современные автоматические аналоги могут измерять метеорологические величины с гораздо более высокой временной частотой, вплоть до нескольких секунд, и без участия наблюдателя. Это открывает возможности для глубокого анализа пространственно-временной структуры метеорологических полей, а также для многочисленных оценок влияния метеорологических параметров на природную среду.

### **2.1.2. Репрезентативность наблюдений с помощью АМС**

Несмотря на очевидные преимущества АМС, необходимо помнить о репрезентативности наблюдений, поскольку данные должны соответствовать требованиям точности, установленным ВМО (см. главу 1). Поэтому желательным условием использования АМС, даже в том случае, если она абсолютно новая и имеет лицензированный паспорт погрешностей, является ее поверка, т. е. сопоставление результатов автоматических измерений с данными, полученными с помощью эталонных приборов, которые используются, согласно ГОСТу, на сети Росгидромета. Такого рода поверка может осуществляться двумя путями.

1. *Поверка АМС в соответствующей специализированной лаборатории фирмы-производителя.* Этот путь наиболее оптимальный, поскольку по результатам поверки фирмы-производителя выдается паспорт АМС, содержащий величины погрешностей приборов. Но на практике это практически невозможно из-за формальных проблем, в основном связанных с тем, что большинство фирм-производителей находится за рубежом. Тем не менее количественно точная поверка АМС может проводиться только таким образом. В идеале АМС должна проходить такую лабораторную поверку ежегодно.

2. *Поверка АМС путем сравнения с данными сетевой метеостанции Росгидромета (или любой ведомственной, программа наблюдений и точность приборов на которой удовлетворяет требованиям Росгидромета).* Приборы устанавливаются в тех же условиях, что

и эталонные. В течение как можно более длительного времени (не менее 1 месяца) выполняются синхронные наблюдения по АМС и по эталонным приборам. Несмотря на удобство, такого рода поверка имеет ряд технических сложностей. Во-первых, условие полной однородности среды для эталонного и тестируемого прибора можно выполнить только в случае лабораторной поверки. Во-вторых, чувствительность приборов АМС, как правило, существенно выше, чем таковая для эталонных метеоприборов. Тем не менее, такая поверка все-таки лучше, чем ничего. По ее результатам можно:

а) выявить грубые ошибки. Например, отклонение температуры более чем на 0,5 градусов при максимально одинаковых условиях наблюдений нельзя объяснить только лишь различием в чувствительности приборов;

б) построить эмпирическую функцию распределения ошибок. Если она хорошо аппроксимируется каким-либо законом распределения, то для каждого из интервалов метеовеличины можно ввести систематическую поправку (в рамках измеряемого диапазона). Для того чтобы поверка была статистически значимой, ряд наблюдений должен составлять не менее одного месяца, а желательно порядка трех месяцев. Поверку необходимо выполнять в том диапазоне изменчивости метеорологических величин, который соответствует условиям работы данной АМС. К примеру, если станцию планируется использовать в июле в Алтае-Саянском горном регионе на высоте 2500 м над уровнем моря, это означает, что чаще всего измерения будут осуществляться в диапазоне  $-2 - +18^{\circ}\text{C}$  с максимальной повторяемостью значений  $8-10^{\circ}\text{C}$ . Соответственно, если поверка выполняется в Москве, то ее нужно проводить в период 15 апреля – 15 мая или 15 сентября – 15 октября, когда данный диапазон температур наиболее вероятен. То же самое относится и к другим метеовеличинам;

в) построить эмпирическую функцию связи между метеорологическими величинами, измеренными с помощью АМС и с помощью «эталонных» приборов. В идеале она должна представлять собой прямую линию, причем разброс точек вокруг нее, характеризуемый среднеквадратическим отклонением по времени (общие формулы для расчета дисперсии и среднеквадратического отклонения приведены в главе 1), должен быть минимальным. Например, для температуры идеальным значением среднеквадратической ошибки должна быть величина точности измерения этого метеопараметра, т. е.  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Но, учитывая не

вполне однородные условия наблюдений, факт разной инерционности приборов, а также то, что требования ВМО к точности полностью выполняются далеко не всеми фирмами-производителями, величину ошибки можно увеличивать. Вопрос о границах этого увеличения достаточно сложен. Они зависят от решаемых задач, а также от временной изменчивости метеорологических рядов района, в пределах которого будет использоваться АМС. Очевидно одно – величина ошибки должна быть меньше, чем значения микроклиматической изменчивости внутри какого-либо элемента ландшафта (поля, леса определенного типа, луга, поверхности ледника, морены и т. д.). Опыт полевых работ в различных географических условиях показывает, что, учитывая вышеизложенное, максимальное значение среднеквадратического разброса ошибки не должно превышать  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Следует отметить, что если цели мониторинга научно-исследовательские или образовательно-просветительские, точность измерений может варьировать в достаточно широких пределах. Например, для задачи изучения пространственного распределения метеовеличин в пределах ландшафта зачастую важны не абсолютные значения метеоэлементов в точках, а величины различий между ними. В этом случае вполне достаточно выполнить поверку, алгоритм которой приводится в п. 2. Выявив статистические свойства ошибки, можно использовать данные, имея в виду оцененную величину погрешности в точках. В том случае, если работы ведутся по заказу министерств и ведомств, в рамках госконтрактов или с целями гидрометеообеспечения какой-либо отрасли экономики, необходима ежегодная поверка приборов в лаборатории фирмы-производителя (см. п. 1).

### **2.1.3. Принцип выбора автоматической метеостанции для задач гидрометеорологического мониторинга**

Как отмечалось выше, в настоящее время в мире существуют десятки производителей гидрометеорологического оборудования. Поэтому правомерны вопросы: для чего такое разнообразие автоматических гидрометеостанций и как подобрать нужное оборудование?

В таблице 2.1, а также на рисунке 2.1. приведены несколько фирм-производителей и соответствующие метеостанции. Специально указаны станции разного класса: от дорогостоящего профессионального оборудования AANDERRA Data Instruments до существенно более скромных станций Vantage Pro фирмы Davis Instruments.

**Сравнительная характеристика нескольких широко используемых метеостанций с датчиками разного уровня точности**

Базовая станция		AWS-2700	BWS200 <sup>1</sup>	WXT520	Vantage Pro
Название фирмы		AANDERRAA Data Instruments	CAMPBELL Scientific	VAISALA	DAVIS Instruments
Страна		Норвегия	Великобритания	Финляндия	США
Диапазон и точность измерений	Атмосферное давление, гПа	720 ... 1080 ± 0,2	600–1100 ± 0,3	600–1100 ± 0,3	600–1100 ± 1,0
	Температура воздуха, °С	–43 ... +48 ± 0,1	–40 ... +55 ± 0,2	–52...+60 ± 0,2	–40...+65 ± 0,5
	Относительная влажность <sup>2</sup> , %	0 ... 100 ± 2	0 ... 100 ± 4	0 ... 100 ± 4	0 ... 100 ± 5
	Скорость ветра <sup>3</sup> , м/с	0 ... 80 м/с ± 2%	0...70 ± 3%	0...60 ± 2%	0...40 ± 5%
	Направление ветра, °азимут	0...360 ± 2	0...360 ± 5	0...360 ± 2	0...360 ± 10
	Часовая сумма осадков	0 ... 200 ±0,2	0...200 ±0,4	0...200 ±0,2	0...200 ±0,5
	Потоки радиации, Вт/м <sup>2</sup>	±5	±10	±5	
Временная дискретность, память, Мб	0,5...180 мин, 2–4 Мб	0,5...180 мин, 2–4 Мб	0,5...180 мин, 2–4 Мб	1...180 мин 0,2–0,4 Мб	
Цена, у.е. <sup>4</sup>	30000 – 40000	15000–25000	5000–10000	1000–4000	

<sup>1</sup> Базовая станция BWS200 фирмы CAMPBELL отличается возможностью использования самого различного оборудования, в том числе произведенного другими фирмами. Поэтому диапазон точностей величин указан условно. В частности, использование наиболее качественных датчиков давления может минимизировать погрешность измерения до 0,2 гПа. То же самое относится и к датчикам радиации. Также в комплектацию станции может входить датчик высоты снежного покрова или толщины ледника. Измеряется расстояние от датчика до снежной (ледовой) поверхности в диапазоне 0,5–10 м. Точность измерения – ±1см.

<sup>2</sup> При значении относительной влажности более 90% погрешность измерений увеличивается на 3–5 %.

<sup>3</sup> Приведенные погрешности относятся к скоростям ветра более 10 м/с. При меньших скоростях величина ошибки у каждой из перечисленных метеостанций не превышает 0,5 м/с.

<sup>4</sup> Ценовой диапазон указан условно. Как правило, АМС поставляются в трех комплектациях: минимальной (включает только основные метеорологические характеристики, data-logger и систему энергоснабжения), базовой (как правило, дополняются датчиками радиации, температуры почвы) и полной (измерение всех возможных гидрометеорологических характеристик, и все варианты передачи данных – радио, GPRS, GPS и т. д.).

а)



б)



в)



г)



**Рис. 2.1.** Пример АМС, предназначенных для разных исследовательских задач: а) система BWS200 фирмы CAMPBELL Scientific; б) система AWS-2700 фирмы AANDERRAA Data Instruments; в) система Vantage Pro фирмы DAVIS Instruments; г) система WXT520 фирмы VAISALA

Но не всегда большая погрешность измерений является ключевым недостатком. Если перед исследователями стоят чисто научно-исследовательские или образовательные задачи, то точность, соответствующая ГОСТу, не требуется. Портативная сеть станций Davis позволит вполне адекватно описать микроклиматические различия, в частности, в горных районах, получить соответствующие статистические связи, которые могут быть полезны как в научном, так и в прикладном плане.

Пожалуй, наиболее оптимальными метеорологическими станциями, если говорить о соотношении цена–качество, являются метеостанции системы CAMPBELL (Великобритания, Канада). Они обеспечивают довольно высокую точность измерений, достаточно автономны и относительно небольшие по весу – полный комплект весит около 20 кг. Тем не менее, и эти станции имеют существенный недостаток – неудобное программное обеспечение, которое прилагается к ним, а также процедура записи данных на внешние носители.

Хотелось бы отметить, что в таблице 2.1 представлена примерно треть ведущих мировых производителей АМС. Их продукция показана на рисунке 2.1. Они, как и сравнительный анализ нескольких АМС, приведены здесь в качестве примера, иллюстрирующего подход к выбору оборудования, адекватно соответствующего поставленной задаче.

## **2.2. Система удаленного мониторинга НОВО-U30-NRC-10-S100-00**

### **2.2.1. Общая характеристика и структура НОВО-U30-NRC-10-S100-00**

Гидрометеорологический мониторинг на территории ООПТ Алтае-Саянского экорегиона будет осуществляться с помощью АМС НОВО-U30-NRC-10-S100-00. Эта АМС довольно удобна для гидрометеорологического мониторинга в полевых условиях. Метеостанция на базе U30 измеряет следующие параметры:

- температуру воздуха;
- температуру почвы/воды;
- относительную влажность воздуха;
- влажность почвы;
- сумму осадков;
- скорость и направление ветра;
- влажность листвы;
- освещенность;
- фотосинтетически активное излучение;
- атмосферное давление;
- содержание CO<sub>2</sub> в воздухе.

Метеостанция на базе НОВО U30 компактна – ее вес вместе с крепежным и несущим оборудованием, а также энергоблоком не превышает 10 кг. Система способна работать в автономном режиме, может питаться от электрической сети и от солнечной батареи 6,0 Вт SOLAR-6W. Она легко перестраивается и приспособливается для широкого ряда приложений. Программное обеспечение НОВОwarePro (Windows®, Mac®) используется для программирования метеостанции, загрузки и дальнейшей обработки данных. Данные могут выгружаться из программы в виде таблиц для дальнейшей обработки или хранения.

Метеостанции НОВО фирмы ONSET имеют модульную структуру. Это означает, что, приобретая АМС, покупатель по отдельности заказывает регистратор, датчики и вспомогательное оборудование. Как и у всех АМС, комплектация НОВО U30 включает в себя регистратор станции (образно говоря, это главная часть АМС, ее «мозг»), блок метеорологических датчиков, блок энергопитания и крепежные элементы (тренога, штанга для осадкомера, кронштейны, болты, гайки и т. д.). Общий вид АМС НОВО U30 изображен на рисунке 2.2.



**Рис.2.2.** Общий вид метеорологической станции НОВО У30

Датчик уровня осадков установлен на дополнительную мачту. Обычно он устанавливается на верхнюю часть мачты. Датчик скорости ветра установлен на полуперекрестный рычаг (заказывается отдельно). Датчик фотосинтетически активной радиации установлен на дополнительный кронштейн (заказывается отдельно).

### **2.2.2. Регистратор У30-NRC-VIA-10-S100-000**

Основным блоком метеостанции является регистратор данных. Из всех регистраторов, выпускаемых ONSET, серия У30 на сегодняшний день является наиболее современной. Регистраторы У30 снабжены гнездом мини-USB и напрямую подключаются к USB-порту компьютера. Каждый регистратор имеет свою систему обозначений. Рассмотрим систему обозначений регистратора. В качестве примера возьмем У30-NRC-VIA-10-S100-000 (рис. 2.3)



*Первый блок* символов U30 обозначает название АМС.

*Второй блок* символов обозначает наличие или отсутствие удаленной коммуникации. Возможно четыре варианта обозначений: NRC, GSM, WIF, ETH:

- NRC – удаленная коммуникация отсутствует.
- GSM – данные выгружаются через системы мобильной связи. Фирма Onset заключила договоры с крупнейшими российскими операторами мобильной связи, поэтому данные АМС НОВО30 поступают на сайт Onset. Предварительно взимается абонентская плата (создается так называемый аккаунт, который может быть как открытым, так и закрытым). Абонентская плата зависит от того, насколько часто выгружаются данные.
- WIF – данные выгружаются через WiFi (технология беспроводного соединения с Интернетом).
- ETH – данные выгружаются через Ethernet (пакетная технология проводной передачи данных в среде компьютерных сетей, преимущественно локальных; выход в Интернет с помощью проводных соединений).

*Третий блок* символов обозначает наличие или отсутствие аналоговых входов. VIA – входы наличествуют, 000 – входы отсутствуют.

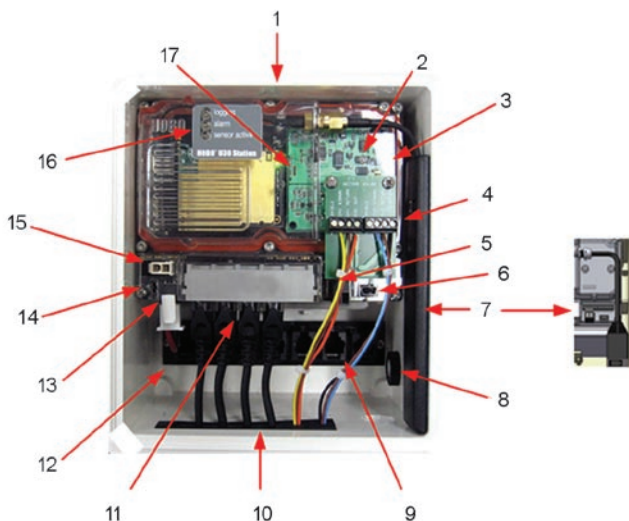
*Четвертый блок* символов обозначает количество входов для цифровых датчиков типа Smart: 0,5–5 входов, 10–10 входов. Если необходимо подключить больше датчиков, следует заказать расширительную плату (заказывается отдельно).

*Пятый блок* символов обозначает мощность аккумуляторной батареи. So45 – батарея на 4.5 Ач, S100 – батарея на 10 Ач.

*Шестой блок* символов обозначает код сервисного плана, т. е. периода выгрузки данных из регистратора в Интернет. Информацию можно найти на сайте Onset и в инструкциях к регистратору. Для системы без удаленной коммуникации (NRC) – 000.

Прокомментируем назначение узлов регистратора, обозначенных на рисунке 2.3. цифрами:

- 1 – наружный защитный кожух;
- 2 – регистратор (дата-логгер) U30;
- 3 – внутренний кожух – обеспечивает защиту электроники от внешних воздействий. (Внимание! Данный кожух нельзя открывать, в противном случае клиент лишается гарантии на регистратор);



**Рис.2.3.** Регистратор НОВО U30

4 – порт аналоговых датчиков – устанавливается на заводе (в моделях, где он есть);

5 – контакты реле – могут замыкаться, размыкаться или пульсировать при сигнале тревоги, заданном пользователем. Данное реле может конфигурироваться как нормально замкнутое, нормально разомкнутое, номинал 30В, 1А;

6 – порт USB (сюда вставляется USB-кабель для подключения к компьютеру);

7 – разъем для GSM или Wi-Fi антенны (на моделях с GSM или Wi-Fi). Соединение с Ethernet (только для моделей с Ethernet);

8 – вентиляционное отверстие – позволяет выравнять давление внутри корпуса, но не пропускает влагу. Давление внутри корпуса и воздуха снаружи не идентичны, так что датчик атмосферного давления, установленный внутри корпуса, не может измерить истинное атмосферное давление, если его собственное вентиляционное отверстие не находится снаружи;

9 – расширительный слот для датчиков Smart – сюда устанавливается расширительная плата для датчиков Smart;

10 – отверстие для подключения кабелей – все кабели и провода подключаются через защитный резиновый канал, расположенный в

данном отверстии. Если используется опциональная расширительная плата для дополнительных датчиков Smart, потребуется использовать второе отверстие для подключения кабелей;

11 – порты датчиков Smart – подключается до 5 датчиков Smart при помощи разъемов RJ-12. Используйте один разъем для подключения дополнительной расширительной платы для дополнительных датчиков Smart;

12 – 4-вольтовая герметичная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея;

13 – разъем для подключения батареи ;

14 – разъём для подключения заземляющего кабеля (необходимо подключить);

15 – внешнее питание – сюда подключается солнечная батарея или адаптер сети переменного тока (ВНИМАНИЕ! Всегда подключайте и отключайте внешнее питание до отключения батареи. Если отключить батарею до отключения внешнего питания, систему можно повредить.);

16 – светодиоды, отображающие состояние регистратора. Внутри три светодиода, отображающих состояние АМС:

- Logging – указывает, что система в данный момент регистрирует события;
- Alarm – указывает на наличие тревожной ситуации;
- Sensor active – указывает, что сеть датчиков Smart наличествует;

17 – светодиоды «Подключение» (только для моделей с удаленной коммуникацией). Верхний светодиод мигает, когда НОВО Узо пытается установить контакт. (Прочую информацию см. в описании АМС в разделах «Диагностика» и «Поиск и устранение неисправностей».)

### **2.2.3. Краткое описание и спецификация датчиков НОВО Узо**










Рассмотрим кратко датчики метеостанции. Метеостанции НОВО рассчитаны на подключение цифровых датчиков типа Smart. Кроме того, могут подключаться до двух аналоговых датчиков других производителей (если метеостанция оборудована аналоговым входом) либо датчики с импульсным выходом (требуется адаптер).

Перейдем к описанию самих фиксирующих датчиков АМС НОВО Узо. В таблице 2.2 указаны все датчики, которыми укомплектована данная станция. Отметим, что точность большинства датчиков, га-

рантируемая фирмой-производителем, соответствует рекомендациям ВМО и стандартам Росгидромета. Исключение составляют датчики температуры (ошибка 0,2°С при рекомендуемой точности 0,1°С), и в особенности атмосферного давления (3 гПа по сравнению с требуемой точностью 0,1 гПа, см. табл. 1.1). Не слишком хорош также диапазон измерений температуры. В Алтае-Саянском регионе (особенно в горных районах Саян) зимняя температура может опускаться ниже отметки –40°С, в то время как датчик ТМВ-Моxx не способен измерять значения температуры ниже –40 °С (или не может делать это с заявленной точностью).

Таблица 2.2

**Основные характеристики датчиков Smart**

Название датчика	Внешний вид датчика	Единица измерения	Диапазон измерений	Разрешение измерений	Точность измерений	Инерция датчика
Датчик температуры S-TMB-M0xx		°С	–40 +75°С	0,03°С	±0,2°С	< 3 мин
Датчик температуры/относительной влажности S-TNB-M0xx		°С %	40 +75°С 0 –100%	0,02°С 0,1%	±0,2°С ±2,5...3,5%	5 мин
Датчик количества осадков S-RGB-M002 <sup>1</sup>		мм	0–127 мм/ч	0,2 мм	±1%	
Датчик скорости и направления ветра S-WCA-M003 <sup>2</sup>		Скорость ветра: м/с	0–44 м/с	0,19 м/с	±4° или ±0,5 м/с	
		Направление ветра: °	0–358°	1,4°	±5°	
Датчик атмосферного давления S-BPB-CM50 <sup>3</sup>		гПа (или миллибары)	660–1070 мБар	0,1 гПа	±3 гПа	3 мин
Датчик влажности листьев S-LWA-M003 <sup>4</sup>		% (проценты)	0–100%	0.59%	±5%	
Датчик фотосинтетически активного излучения S-LIA-M003		мкмоль/м²/с	0–2500 мкмоль/м²/с	2,5 мкмоль/м²/с	±5 мкмоль/м²/с	
Датчик солнечной радиации S-LIB-M003		Вт/м²	0–280 Вт/м²	1,25 Вт/м²	±10 Вт/м²	
Датчик влажности почвы S-SMA-M005		м³/м³	0–40 м³/м³	±0,0004 м³/м³	±0,020 м³/м³	

<sup>1</sup> Осадкомер оснащен опрокидывающимся ковшом с приемным отверстием на 154 мм осадков. Максимальное число опрокидываний за интервал – 4000. Поставляется с боковыми кронштейнами для установки на шест или треногу и с ножками для установки на поверхность.

<sup>2</sup> Оснащен тремя каналами данных: средняя скорость ветра, направление и самый большой 3-секундный порыв ветра. Выдерживает скорость ветра до 54 м/с.

<sup>3</sup> Поставляется с кабельными стяжками для установки на мачте. Рекомендуется для использования с системой удаленного мониторинга НОВО.

<sup>4</sup> Поставляется с установочным кронштейном.

Таблица 2.3

### Спецификация регистратора НОВО

<b>Беспроводная связь GSM</b>	Четырехдиапазонный GSM/GPRS 850/900/1800/1900 МГц
<b>Беспроводная связь Wi-Fi</b>	2,412–2,484 GHz IEEE 802,11 b/g
<b>Ethernet</b>	IEEE 802,11 b/g
<b>Реле тревоги</b>	Конфигурируется пользователем как НЗ, НО или импульсное. Может замыкаться, размыкаться или пульсировать при сигнале тревоги, заданном пользователем. (макс. 30 В, 1 А)
<b>Длительность уведомления о тревоге</b>	Интервал обработки плюс 2–4 мин (нормальная ситуация)
<b>Сертификация</b>	Сертификат FCC
<b>Входы датчиков Smart</b>	5 или 10
<b>Каналы данных</b>	Максимум 15 (некоторые датчики используют более одного канала данных)
<b>Память</b>	500 000 измерений
<b>Суммарная длина кабелей датчиков</b>	Максимум 100 м
<b>Нормальный рабочий диапазон</b>	От –20 до +40°C
<b>Расширенный рабочий диапазон</b>	От –40 до +60°C, см. срок эксплуатации батареи. <i>Примечание:</i> модуль GSM не работает при температуре ниже –30°C
<b>Локальная коммуникация</b>	USB
<b>Память для хранения данных</b>	512 Кб в энергонезависимой флеш-памяти
<b>Индикаторы работы</b>	Светодиоды отображают состояние датчиков, регистрацию, сигналы тревоги и связь с удаленными устройствами
<b>Интервал регистрации</b>	От 1 мин до 18 ч, определяется пользователем
<b>Интервал выгрузки в Интернет</b>	От 10 мин, определяется пользователем
<b>Питание</b>	Солнечная панель Onset (1,2 Вт, 3 Вт, 6 Вт) или адаптер постоянного тока

<b>Тип батареи</b>	4 В, 10 Ач или 4,5 Ач, перезаряжаемая герметичная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея
<b>Срок эксплуатации батареи</b>	Обычно 3–5 лет, в зависимости от условий эксплуатации. При постоянной работе за пределами нормального рабочего диапазона срок эксплуатации сокращается до 1–2 лет.
<b>Окружающие условия</b>	Устойчив к атмосферным воздействиям
<b>Размеры</b>	17,8 В x 11,7 Д x 19,3 Ш (см)
<b>Вес</b>	2 кг
<b>Установка</b>	Мачта диаметром до 4,1 см или настенный монтаж
<b>Корпус</b>	С двойной защитой от атмосферных воздействий, с защитой от ударов
<b>Доступ в корпус</b>	Откидная крышка, закрепленная двумя защелками, может дополнительно запираться на замок (замок не поставляется)
<b>Дополнительный порт аналоговых датчиков</b>	
<b>Входы</b>	2 канала, конфигурируются пользователем, постоянный ток 0–20 мА или 0–20 В
<b>Питание датчиков</b>	Постоянное напряжение 12 В, потребляемый ток до 50 мА; подогрев от 5 мс до 2 мин, определяется пользователем
<b>Масштабирование</b>	Линейное масштабирование в единицах, заданных пользователем
<b>Точность</b>	± 0,25% от полной шкалы

#### **2.2.4. Подготовка метеостанции для работы в полевых условиях**

Работа с АМС НОВО U30 состоит из нескольких последовательных действий. Это подключение к персональному компьютеру и установка необходимого программного обеспечения, запуск регистратора и его настройка, сохранение данных на ПК. Также в полевых условиях может возникнуть необходимость заменить датчик на новый или добавить еще один с целью расширения программы наблюдений. Ниже приведено описание этапов, которые необходимо освоить для того, чтобы работать с АМС НОВО U30

**Подключение к персональному компьютеру (ПК).** Для подключения к ПК необходимо установить программу НОВОware Pro, ко-

торая поставляется вместе с метеостанцией. Загружается с компакт-диска или через Интернет с сайта производителя <http://onsetcomp.com>. Программа предназначена для подключения станции и ее настройки через ПК, загрузки данных и их декодирования, построения графиков и простейшего статистического анализа. Поддерживает все регистраторы НОВО® серии U, шлюзы данных, метеостанции и микростанции НОВО, регистраторы расхода энергии НОВО Energy Logger Pro™, сборщики данных систем мониторинга НОВО, инструменты считывания. Обеспечивает анализ данных и уведомление о нештатных ситуациях.

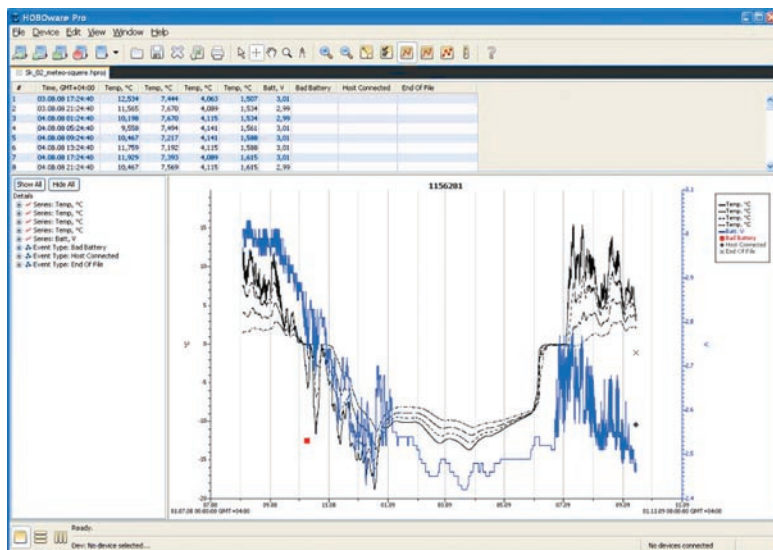
Системные требования для НОВОware, установленной под операционной системой Windows®, следующие:

- вариант операционной системы практически любой: Vista Pro, Vista Home Premium, Microsoft Windows XP Professional или Home Edition;
- требуется наличие среды Java Runtime Environment (JRE), версия 1.5.0\_15 (как правило, автоматически появляется при установке ОС Windows®; в крайнем случае всегда можно найти в Интернет-пространстве);
- минимальная оперативная память 256 Мб (рекомендуется 512 Мб), а также минимум 3,5 Мб свободного места на жестком диске после установки Java Runtime Environment;
- для регистраторов серии U требуется USB-порт, а также последовательный порт или последовательный USB-адаптер для метеомикростанций НОВО или регистраторов расхода энергии НОВО Energy;
- разрешение дисплея 800 x 600 (минимум), 256 цветов (1024 x 768 или более).

Системные требования для НОВОware, установленной под операционной системой MAC®, следующие:

- операционная система Mac OS X версия 10.4.x и 10.5.x;
- требуется наличие среды Java Runtime Environment (JRE) версия 1.5.0\_13;
- минимальная оперативная память 256 Мб (рекомендуется 512 Мб), а также минимум 7 Мб свободного места на жестком диске после установки Java Runtime Environment;

- для регистраторов серии U требуется USB-порт, а также последовательный порт или последовательный USB-адаптер для метеомикростанций НОВО или регистраторов расхода энергии НОВО Energy;
- разрешение дисплея 1024 x 768 (минимум).



**Рис.2.4.** Пример визуализации метеорологических данных с помощью NOVOWare PRO

После установки программного обеспечения необходимо выполнить следующие действия:

- подключить регистратор к компьютеру при помощи USB-кабеля. Все датчики должны быть, в свою очередь, подключены к регистратору. Если регистратор никогда ранее не подключался к компьютеру, обнаружение и регистрация устройства может занять некоторое время. Появится одно или несколько сообщений, указывающих, что обнаружено новое устройство. Вы также можете услышать звуковой сигнал. *Примечание:* компьютер может потребовать перезагрузиться, но в этом нет необходимости;
- запустить программу NOVOWare Pro. В меню Device выбрать вкладку Select Device;



- на вкладке Select Device нажать на кружок рядом с нужным названием устройства, затем нажать ОК. Когда программа НОВОware Pro опознает устройство, на панели состояния в нижней части окна отобразится значок «подключено».

**Запуск регистратора.** Для запуска регистратора необходимо выполнить следующие действия:

- нажать значок Launch на панели инструментов. Появится окно Launch Logger;
- заполнить поля согласно следующим требованиям:  
Description: введите нужное описание;  
Channels to Log: убедитесь, что все датчики, подключенные к регистратору, видны в окне Channels to Log;  
Logging Interval: выберите интервал регистрации 10 с, чтобы собрать достаточно данных для анализа. Когда вы снова запустите регистратор в полевых условиях, выставьте нужное значение;  
Launch Options: выберите Now;  
Utilities: используйте необходимые утилиты. Чтобы получить информацию по конфигурированию тревожных сообщений для U30/NRC см. «Конфигурирование сигналов тревоги» на с. 17 Руководства пользователя для программы НОВОware [17]. Информацию о Data Assistants и прочих утилитах см. в Руководстве пользователя для программы НОВОware;
- нажмите Launch. Светодиод «logging ok» на регистраторе будет мигать каждые две секунды в процессе регистрации.

### **Установка регистратора в полевых условиях**

---

**ВНИМАНИЕ!** Прежде чем выходить в маршрут для установки АМС, необходимо ознакомиться с информацией на с. 56 Руководства пользователя к регистратору U30 [16] и убедиться в наличии всех необходимых крепежных систем, инструментов и оборудования.

---

Установка регистратора в полевых условиях подразумевает, что на базе экспедиции или на сетевой метеостанции выполнена предварительная настройка и конфигурирование оборудования, а также проведено предварительное тестирование АМС. Для того чтобы подготовить регистратор к работе непосредственно в полевых условиях, необходимо выполнить следующие действия:

- установить регистратор НОВО U3o на мачте или треноге;
- подключить заземляющий провод (опция);
- подключить к НОВО U3o все датчики Smart (если еще не подключены), убедиться, что все кабели проходят через отверстия для кабелей;
- включить аналоговые датчики (если используются) в порт аналоговых датчиков (может потребоваться нарастить диаметр кабелей датчиков прочих производителей при помощи термоусадки или изоленты, чтобы они соответствовали диаметру отверстий в каналах и обеспечивали должное уплотнение);
- пропустить кабель солнечной панели или адаптера переменного тока через первый кабельный слот, но не подключать;
- подключить оборудование (если используется) к контактам реле;
- установить защитные кабельные каналы;
- подключить батарею;
- подключить солнечную панель или адаптер переменного тока;
- убедиться, что регистратор НОВО U3o подключен должным образом;
- закрыть дверцу и защелкнуть зажимы на корпусе U3o. Можно использовать замок.

**Считывание данных с регистратора.** Чтобы получить данные, записанные регистратором, их надо считать. При считывании данных они копируются с регистратора на компьютер. Данные можно сохранить в файле и вывести график. Во время считывания регистратор продолжает записывать данные, если вы его не остановили или память не заполнилась. Процедура считывания данных выполняется посредством программы НОВОware Pro. Необходимо:

- кликнуть значок Ready на панели инструментов;
- кликнуть Stop, когда программа НОВОware спросит, желаете ли вы остановить регистратор перед выгрузкой данных. После считывания данных программа НОВОware предложит сохранить данные в файле;
- ввести имя и путь к файлу и нажать Save. Данные будут сохранены в текстовом формате.

**Включение нового датчика в работу.** АМС НОВО U3o опознает новые датчики, когда процесс регистрации не идет. Если попытаться добавить датчик, когда регистратор записывает данные, он будет

проигнорирован. Для всех подключенных датчиков процесс регистрации будет продолжаться.

Чтобы добавить новый датчик Smart, необходимо:

- при помощи программы НОВОware Pro остановить процесс регистрации;
- считать данные с регистратора (ВНИМАНИЕ! При перезагрузке регистратора все существующие данные будут потеряны);
- подключить новые датчики Smart;
- снова включить регистратор. Новые датчики Smart должны начать работать.

Более подробная информация о подключении аналоговых и импульсных датчиков и об установке и программировании метеостанции содержится в руководствах пользователя к регистратору УЗО и к программе НОВОware Pro.

**Основные требования к организации метеоплощадки.** В главе 1 достаточно подробно изложены требования, рекомендованные Росгидрометом и ВМО. Однако они сформулированы для «классических» метеонаблюдений. В случае же работы со станцией НОВО программа метеонаблюдений может быть достаточно вольной. Так, она не включает наблюдения за температурой поверхности и почвы, за снежным покровом. Из актинометрии измеряется только видимый спектр солнечной радиации. Это означает, что ряд правил, сформулированных для данных отсутствующих видов наблюдений, автоматически исключается. Если же исследователи решат дополнить систему радиационными и почвенными датчиками, эти требования необходимо будет соблюдать. Прежде всего, это стандартные глубины измерений и требования к сохранению естественной поверхности почвы или снежного покрова в зоне наблюдений.

При работе с любой АМС от некоторых требований, сформулированных в главе 1, можно отказаться. К ним относятся:

- ограждение метеоплощадки (хотя визуально обозначить область площадки, например камнями, можно для того, чтобы максимально стараться не нарушать естественную поверхность);
- установка ветрозащиты Третьякова (осадкомер НОВО уже откалиброван без учета этой защиты, точность измерений заявлена производителем);
- помещение датчиков температуры и влажности в психрометриче-

скую будку (они уже экранированы от воздействия солнечной радиации специальным приспособлением, см. рис.2.2).

К требованиям, которые необходимо выполнять при организации АМС, относятся следующие:

- метеорологическая площадка должна располагаться таким образом, чтобы ее наблюдения характеризовали метеорологические условия как можно более обширного района и были показательны для него;
- независимо от характера окружающей местности участок для метеоплощадки должен быть ровным, открытым, удаленным от строений, деревьев и других препятствий на расстояние не менее 10-кратной их высоты и не ближе чем в 100 м от больших водоемов. В то же время следует избегать чрезмерно открытых мест, где возможны завывания скорости ветра;
- нельзя размещать метеорологическую площадку вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа;
- размер площадки должен быть не менее 20 x 16 м, при этом длинная сторона прямоугольника направляется с севера на юг;
- приборы и датчики размещаются так, чтобы они не влияли на показания друг друга. Нельзя допускать затенения приборов крепкими элементами метеостанции (особенно это касается датчика видимой радиации – необходимо добиться того, чтобы при любом положении солнца тень не попадала на датчик);
- дорожка к АМС должна быть проложена с северной стороны площадки;
- покров метеорологической площадки необходимо по возможности поддерживать в естественном состоянии. Нельзя допускать разрастания травяного покрова выше 20 см. Не следует нарушать естественное состояние снежного покрова, но в случае образования сугробов их необходимо удалять. Мачты и крепежные элементы желательнее выкрасить белой краской;
- сохраняются все требования по выбору водного поста. Параллельно с автоматическим измерением уровня на реках и озерах в течение 2–3 лет следует проводить стандартные гидрометрические наблюдения, методика которых описана в главе 1. Это позволит, во-первых, оценить точность измерений уровня по АМС НОВО, а во-вторых, получить эмпирическую связь между уровнем воды и ее расходом, которая затем позволит по данным об уровне получать значения расхода воды, а значит, стока рек;

- сохраняются все требования и рекомендации по снегомерным работам ( см. гл. 1).

В распоряжении персонала, обслуживающего станции, должен иметься следующий инвентарь и литературные материалы:

- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып.3, ч.1 [13];
- руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (полезно даже в том случае, если наблюдения не ведутся, поскольку содержит таблицы значений солнечного склонения, поправок для вычисления истинного солнечного времени и много других ценных вспомогательных материалов) [15];
- руководство по теплобалансовым наблюдениям (если на точке станции выполняются оценки теплового баланса) [16];
- атлас облаков (если ведутся актинометрические наблюдения, то оценки балла и типа облачности играют важнейшую роль);
- психрометрические таблицы (на тот случай, если АМС вышла из строя, в идеале должна быть возможность замены на стандартные наблюдения по сокращенной схеме с использованием стационарного психрометра; кроме того, при сопоставлении АМС со стандартными метеорологическими приборами характеристики влажности придется оценивать по данным таблицам);
- методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях;
- снегомерные принадлежности (рейки, снегомер весовой), поскольку с помощью НОВО характеристики снежного покрова не измеряются;
- рейка водомерная переносная, нивелир, рейка нивелирная (вместо них в крайнем случае навигаторы спутникового позиционирования), рулетка, уровень, бур ледовый, рейка водомерная максимальная, намётка (для промеров глубин), термометр водный в оправе, фонарь, лодка, книжка для записей данных наблюдений;
- руководства по гидрометрическим наблюдениям, которые можно найти в [3,11].

Использование АМС, в частности НОВО 30, сопряжено со следующими проблемами:

- скорость и направление ветра измеряется на высоте 2 м, в то время как на сетевых станциях измерения выполняются на высоте 10 м;
- невозможно измерить твердые осадки (осадкомер НОВО не оснащен устройством для плавления снега);
- нельзя определить полный радиационный баланс подстилающей поверхности (только приходящей видимой радиации);
- невозможно измерить толщину и плотность снежного покрова. По всей видимости, для этого придется пользоваться методикой, описанной в п.1 главы 1.

### **2.2.5. Автономные регистраторы параметров окружающей среды**

Автономные регистраторы применяются, когда использовать метеостанцию нецелесообразно по экономическим, техническим или иным соображениям. В состав автономного регистратора параметров входят 1–2 датчика (например, температуры и относительной влажности воздуха) и собственно регистратор.

В отличие от метеостанции автономный регистратор нельзя подключить напрямую к компьютеру. Для снятия информации с автономного регистратора используется коллектор данных либо базовая станция. Отличие между ними заключается в том, что коллектор данных оборудован собственной памятью.

Коллектор либо базовая станция подключается к USB-порту компьютера, а к нему подключается регистратор. Передача данных между регистратором и коллектором (базовой станцией) осуществляется по оптическому интерфейсу. Благодаря этому герметичность регистратора не нарушается.

**Подключение автономного регистратора к ПК.** Для подключения регистратора НОВО к компьютеру требуется оптическая USB базовая станция (BA.E-U-1 или BASE-U-4) либо коллектор данных (U-DT-1 или U-DTW-1); программа НОВОware. Если возможно, не подключайте регистратор при температуре ниже 0°С и выше +50°С. Сначала подключите USB-разъем базовой станции к USB-порту компьютера. Затем подключите регистратор и базовую станцию к соединителю.

Если вы используете базовую станцию BASE-U-1, убедитесь, что регистратор подключен к тому концу соединителя, на котором расположен магнит, и что выступы на базовой станции и регистраторе совпадают с канавками на соединителе.

Вы можете считать с регистратора данные или проверить его состояние, пока он продолжает регистрировать данные, остановить его вручную при помощи программы или позволить ему записывать данные, пока память не заполнится. Полная информация по загрузке, считыванию данных и обзору данных находится в руководстве по программному обеспечению.

**Запуск регистратора.** Можно сконфигурировать регистратор таким образом, чтобы он запускался по команде при помощи магнита на соединителе:

- 1) в программе выберите Trigger Start; выньте регистратор из соединителя;
- 2) принесите регистратор и пустой соединитель к месту расположения (Внимание! Запустить регистратор можно любым магнитом, но чтобы не произошел преждевременный запуск, держите регистратор вдали от магнитных полей, пока не решите его запустить);
- 3) если вы готовы запустить регистратор, вставьте его в пустой соединитель (или разместите рядом с сильным магнитом) и извлеките через 3 с (ВНИМАНИЕ! Если к соединителю подключена базовая станция, регистратор не запустится!);
- 4) убедитесь, что светодиод регистратора мигает не реже чем раз в 4 с.

**Снятие данных.** Подключите регистратор к коллектору данных (либо к базовой станции, подключенной к ПК). Дальнейший процесс выгрузки данных ничем не отличается от выгрузки данных из регистратора U30.

## **Гидрометеорологические наблюдения на территории Алтае-Саянского экорегиона**

### **3.1. Краткая физико-географическая и климатическая характеристика Алтае-Саянского экорегиона**

#### **3.1.1. Общая физико-географическая характеристика**

Алтае-Саянский экорегион (АСЭ) расположен в Центральной Азии, в основном в России (северная часть составляет 62%) и Монголии (южная часть составляет 29%). Небольшие его площади находятся на западе Казахстана (5%) и на востоке Китая (4%). АСЭ включает такие горные системы, как Алтай (Алтайская горная страна), Саяны, Кузнецкий Алатау, Салаир, горы Тувы и Монголии, а также межгорные котловины. Площадь этой территории превышает 1 млн км<sup>2</sup> в пределах России, Казахстана, Китая и Монголии. Ее протяженность с запада на восток составляет 1600 км, с севера на юг – 1300 км. Алтае-Саянский экорегион в географическом отношении совпадает с Алтае-Саянской горной страной (рис.3.1). Алтае-Саянская горная страна – самая высокая в Северной Азии. Высоты колеблются между 2000 и 3000 м с высочайшей вершиной Белуха в Катунском хребте (4506 м) на территории центрального Алтая. Еще в семи хребтах и горных массивах вершины превышают 4000 м (Мунх-Хайрхан, Цаст-Ула, Северо-Чуйские Альпы, Хархира, Хангай, Сутай-Ула, Тургэн-Ула). В восточном и северо-восточном направлении от Алтая высота хребтов понижается [7,9].

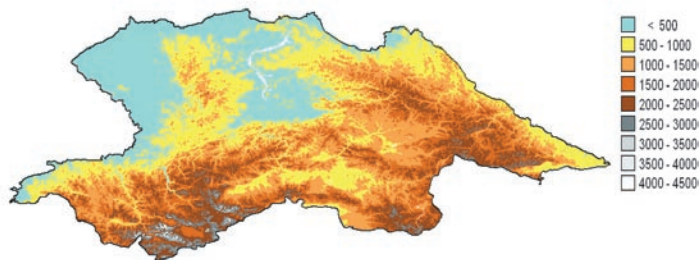
Алтае-Саянская горная страна – важнейший водораздельный узел. Здесь расположена основная часть верхнего водосбора рек Оби, Иртыша, Енисея, а также водосборные бассейны, питающие целый ряд разновеликих бессточных котловин Казахстана, Джунгарии и Монголии. Это и крупные котловины северной части Джунгарской Гоби (озеро Урунгу-нор, очень недавно отделившееся от бассейна Иртыша), часть котловины Больших озер, а также борта котловины Барун-Хурай, бессточные озерные котловины с озерами Ачит-нур и Эрег-нур, Цаган-



нур на севере и Алаг-нур на юге. Здесь же находится самое крупное озеро этого региона – Увс-нур (Убсу-Нур).

Алтае-Саянская горная страна – область палеозойской складчатости Южной Сибири. Она тянется от котловины озера Зайсан на западе до озера Байкал на востоке и имеет разнородное геологическое строение [7,9]. Здесь располагаются байкальские и салаирские (Восточный Саян, Кузнецкий Алатау, Горная Шория), каледонские (Западный Саян, Юго-Восточная Тува, частично Горный Алтай) и герцинские (Рудный Алтай, Салаир) складчатые системы, а также крупные массивы с дорифейским фундаментом (Сангилен, Хамар-Дабан). Современный облик высокогорного рельефа Алтае-Саянской горной страны возник вследствие тектонических движений, наиболее масштабные из которых происходили в конце третичного – начале четвертичного периодов и продолжают по настоящее время (о чем свидетельствуют частые землетрясения и другие геологические явления). На складчатых палеозойских поясах сформировались складчато-глыбовые горы, нагорья и межгорные котловины. Эрозионные процессы, а также развитие горного оледенения существенно изменили первоначальный облик гор [7,9].

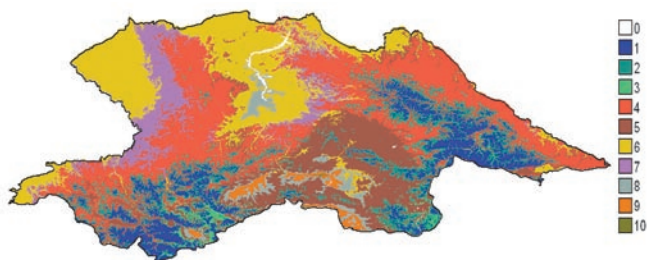
Резкие отличия в степени увлажнения наветренных и подветренных макросклонов горных систем являются характерной чертой Алтае-Саянской горной области. Это накладывает отпечаток на распределение растительных сообществ (рис 3.2). В Алтае-Саянском экорегионе высотные пояса растительности изменяются от зональных степей и лесостепей в теплых и сухих низкогорьях через лесные пояса в среднегорьях к тундре и затем к нивальному поясу на больших высотах в холодных и влажных высокогорьях. Структура растительности меняется



**Рис. 3.1.** Орографическая карта Алтае-Саянского экорегиона (высоты над уровнем моря, м) [20]

вдоль градиента «северо-западный наветренный макросклон - юго-восточный подветренный макросклон». В северных предгорьях базисным поясом является степь, которая сменяется лесостепью и светлохвойной сосновой и березовой подтайгой. По мере поднятия в горы по наветренному макросклону с резким ростом осадков появляются пихтово-кедровые-осиновые черневые леса, высокопродуктивные, отличающиеся флористическим богатством и наличием разнообразных папоротников; затем следуют среднегорная темнохвойная тайга, субальпийская темнохвойная тайга и высокогорная тундра. Весь наветренный макросклон занят темнохвойной тайгой. С переходом на подветренный макросклон и по мере резкого уменьшения осадков темнохвойная тайга быстро заменяется светлохвойной, в основном лиственничной, тайгой, которая также быстро заменяется степью, без экотона лесостепи, затем сухой степью и даже полупустыней в сухих межгорных котловинах Тувы [20].

В Алтае-Саянской горной стране берут свое начало крупнейшие реки Сибири – Обь и Енисей. У них много притоков, большинство из которых горного характера – текут с большой скоростью в узких долинах с крутыми скалистыми берегами. В связи с разнообразием условий формирования стока его величины в разных частях страны различны. Наибольший сток характерен для рек Центрального Алтая и Кузнецкого Алатау. Например, водность реки Томь весной зависит от таяния снегов, в летне-осенний период – от количества выпавших осадков, а в питании реки Катунь, истоки которой находятся в ледниковых районах, решающее значение имеет таяние ледников. В общем же сток большинства рек за теплый период составляет 80–90% годового [7,9,20].



**Рис.3.2.** Природные зоны Алтае-Саянского экорегиона [20]

Обозначения: 0 - водные объекты; 1 - горная тундра; 2 - субальпийское темнохвойное редколесье; 3 - подгольцовое светлохвойное редколесье; 4 - темнохвойная горная тайга; 5 - светлохвойная горная тайга; 6 - подтайга и лесостепь; 7 - темнохвойная черневая тайга; 8 - степь; 9 - сухая степь; 10 - полупустыня и пустыня

В Алтае-Саянской горной стране великое множество озер. В основном они небольшие и располагаются в ледниковых карах и цирках высокогорного пояса или в понижениях между моренными грядами и холмами. Наиболее крупными озерами экорегиона являются Хубсугул, Убсу-Нур, Телецкое, Маркаколь [9].

### **3.1.2. Общая климатическая характеристика.**

#### **Климатообразующие факторы и климатическое районирование**

Климат АСЭ, как и любого другого региона, обусловлен взаимодействием общих климатообразующих факторов: радиационного баланса, циркуляции воздушных масс и характера подстилающей поверхности (рельеф, растительность, реки, болота, снежный и ледяной покров и др.) [18,21]. Значимость этих факторов определяется тем, что регион расположен в умеренных широтах центральной части Евразии и удален от морей и океанов. Большое влияние на алтайский климат оказывают прилегающие территории: Западная и Восточная Сибирь, Центральная и Средняя Азия, а также – через механизм циклонической деятельности – европейская территория России, Атлантика и Средиземноморье.

По классификации климатов Кёппена [21] на территории АСЭ можно выделить пять типов климата:

- умеренно-континентальный тип *DC* – годовая сумма осадков больше или равна сумме испарения, температура самого холодного месяца года ниже нуля, а самого теплого – выше 10°C; к этому типу климата относится примерно 60% территории АСЭ (северная равнинная часть региона, горы Кузнецкого Алатау, северные низкогорья и среднегорья Алтая, горная Шория, Западный Саян); в горах «верхней границей» этого типа климата следует считать границу леса;
- климат степей *BS* – годовая сумма осадков меньше, чем сумма испарения; к этому типу климата относится около 20% от общей площади АСЭ (равнинные районы китайской и монгольской территорий АСЭ, западные районы Республики Тыва, небольшие участки Восточных Саян, межгорные котловины);
- климат пустынь *BW* – годовая сумма осадков менее 100 мм, к этому типу относится не более 5% от общей площади АСЭ (районы в центральной и южной частях монгольской территории АСЭ);
- климат тундры *FT* – годовая сумма осадков больше, чем сумма испарения, при этом средняя температура самого теплого месяца

ца менее 10°C, но более 0°C; к этому типу относится примерно 15% территории (высокогорные районы Алтая и Саян, занятые альпийскими лугами и горными тундрами выше 1500–2000 м н. у. м. в зависимости от экспозиции склонов, температура июля менее 9°C);

- ледовый климат *FI* – температура самого теплого месяца колеблется в пределах 0...+5°C, к этому типу климата относятся только высокогорные районы Алтая с абсолютными высотами более 2500–3000 м н. у. м. в зависимости от экспозиции склона, занятые горными ледниками; эти площади суммарно занимают не более 1% от общей площади АСЭ.

Согласно климатической классификации Л. С. Берга [21], на территории АСЭ можно выделить три типа климата:

- тип тайги, подтип – восточно-сибирский (морозная и сухая зима, теплое лето с температурой самого теплого месяца более 10 °С, но менее 20 °С); к этому типу климата относится примерно 60 % территории АСЭ (северная равнинная часть региона, горы Кузнецкого Алатау, северные низкогорья и среднегорья Алтая, Горная Шория, Западный Саян); в горах «верхней границей» этого типа климата следует считать границу леса;
- тип высокогорных степей и полупустынь умеренного климата; к этому типу относится практически вся монгольская и китайская часть АСЭ (за исключением территорий, занятых горными тундрами и ледниками), западные районы Республики Тыва, небольшие участки Восточных Саян, межгорные котловины, в целом примерно 25 % территории;
- тип высокогорных тундр (высокогорные районы Алтая и Саян, занятые альпийскими лугами и горными тундрами выше 1500–2000 м н. у. м. в зависимости от экспозиции склонов). Горные ледники как климатический подтип в классификации не рассматриваются.

Когда речь идет о климатических описаниях, то, как правило, опираются на генетическую классификацию климатов Б. П. Алисова [21]. Ее отрицательная сторона – отсутствие четких количественных критериев, которые обозначали бы климатические границы. Главный критерий – преобладание над регионом воздушных масс того или иного происхождения. Согласно этому критерию, вся территория АСЭ, включая горные районы, относится к умеренной климатической зоне континентального климата.

Итак, резюмируя приведенные классификации, климат Алтае-Саянского экорегиона следует определить как континентальный с большим количеством подтипов, которые обусловлены в основном орографическими особенностями. Для всего региона, несмотря на его большую пространственную неоднородность, характерны следующие черты:

- большая годовая амплитуда температуры (35–40°C);
- четко выраженный летний максимум и зимний минимум осадков;
- увеличение засушливости климата по мере движения в восточном и южном направлениях;
- рост количества осадков и увеличение суровости климата по мере продвижения в высокогорные районы.

Для АСЭ характерна длинная и холодная (в высокогорных районах суровая) зима и короткое, но теплое (в высокогорных условиях прохладное) лето. Продолжительность периода с отрицательными среднесуточными температурами в среднем по региону составляет 150–190 дней (увеличивается по мере увеличения абсолютной высоты над уровнем моря или при движении в северо-восточном и восточном направлении). Средняя температура января колеблется в пределах –17...–22°C в предгорьях и –27...–32 °С в высокогорных районах (хотя бывают исключения, речь о которых пойдет ниже). Продолжительность летнего периода, характеризуемого среднесуточной температурой выше +10°C, составляет на равнинной части и в предгорьях 100–130 дней. Средняя температура июля +17...+22°C в предгорьях и +7...+12°C в высокогорных районах. В горах выше 2500 м над уровнем моря лето фактически отсутствует – средняя июльская температура там ниже +10 °С. Несмотря на теплое лето, безморозный период в регионе отсутствует – вероятность заморозков существует на протяжении всего года, причем даже на равнинной части. Поэтому, хотя степные почвы равнинной части АСЭ плодородны, в целом этот южный регион следует относить к зоне рискованного земледелия, несмотря на достаточно южное положение. Переходные сезоны короткие. Климат характеризуется большой годовой амплитудой температуры. Например, в Барнауле она составляет 37,3°, в Бийске – 36,2°, Славгороде – 39,3°, Рубцовске – 38,0°.

Годовая сумма осадков в предгорьях – 400–500 мм/год, в горных районах она достигает 1500 мм. Около 70% осадков выпадает в теплое полугодие (с апреля по октябрь). Это связано с особенностями атмосферной циркуляции, речь о которых пойдет ниже.

**Приток солнечной радиации.** Поскольку регион расположен на 46–55° с. ш. и для него характерна малооблачная погода, здесь создаются благоприятные условия для поступления большого количества солнечной энергии. Значения суммарной радиации изменяются от 100 на севере до 120 ккал/см<sup>2</sup> в год на юге края. В горах, где чаще бывает облачная погода, приток солнечной радиации уменьшается, а ее распределение сильно зависит от ориентации и крутизны склонов. В летнее время солнце поднимается высоко над горизонтом (57–63°), долгота дня увеличивается до 17 ч. Зимой высота солнца не превышает 20°, а день становится короче почти в два раза. В некоторые горные долины зимой прямая солнечная радиация не поступает вообще. Годовая продолжительность солнечного сияния в крае изменяется в пределах 1800–2200 часов, увеличиваясь с запада на восток и с севера на юг. По количеству солнечного света север края можно сравнить с центром Украины, юго-запад в районе Рубцовска – с Южным Крымом.

**Атмосферная циркуляция.** Зимой около 70% времени погоду региона определяет холодный сибирский антициклон, реже – холодные антициклональные ядра скандинавского или арктического происхождения. Число атлантических и южных (со стороны Средиземноморья и Каспия) циклонов, определяющих погоду региона, за холодный период (с ноября по март), как правило, не превышает 10–12. Правда, это активные вихри, поскольку температурные контрасты в них очень велики. В теплых секторах циклонов, пересекающих юг Западной Сибири, часто сохраняются морской умеренный воздух Атлантики, Средиземноморья или тропическая воздушная масса из южных районов Средней Азии. Температура этих воздушных масс даже в южных районах Сибири может достигать нулевой отметки. В тыл циклонов поступает континентальный воздух Сибири, свойства которого не отличаются от арктической воздушной массы, а температура в приземном слое составляет –20...–25°С, а нередко и –30...–35°С. При таких контрастах атмосферные фронты циклонов очень активные. Из-за этого на территории АСЭ бывают сильные снегопады – особенно в горах, причем в первую очередь на западе Алтая и в горах Кузнецкого Алатау. Поэтому зимой, несмотря на существенно меньшее, чем летом, количество осадков, здесь формируется мощный снежный покров, высота которого в предгорных районах в последней декаде марта составляет в среднем 30–40 см, в горах 60–70 см, а местами (без учета лавинных отложений) достигает трех метров. Этим объясняется,

с одной стороны, мощность оледенения Алтая, а с другой – преимущественно ледово-снежное питание рек региона.

Летом АСЭ оказывается в зоне полярного фронта, который разделяет умеренно-континентальный воздух Сибири (или морские воздушные массы Атлантики и Арктики) и теплый континентальный тропический воздух Средней Азии, Монголии и Китая. В зоне фронта активно развиваются процессы образования циклонов (циклогенеза). Следует отметить, что в летнее время местный циклогенез над южными районами Сибири и над Монголией весьма развит. Число циклонических вихрей, которые образуются над Алтае-Саянским регионом или проходят через него в теплое полугодие, составляет в среднем 20–25, т. е. вдвое больше, чем зимой. Это и атлантические, и южные (средиземноморские, черноморские, каспийские) циклоны. За счет этого большая часть осадков (около 70%) выпадает именно в летние месяцы.

Кроме крупномасштабных атмосферных процессов, большую роль в формировании метеорологического и климатического режима в горных районах играют так называемые местные циркуляции. Это фёны<sup>1</sup>, а также горно-долинные и стоковые ветры. В некоторых высокогорных районах они являются важнейшим климатообразующим фактором.

### **3.1.3. Анализ основных климатических характеристик**

**Температурный режим.** Главными факторами, формирующими температурный режим АСЭ, являются особенности радиационного баланса, большая орографическая неоднородность, особенности циркуляции воздушных масс (факторы перечислены по мере их значимости для данного региона).

Как было отмечено выше, для региона характерна очень *большая сезонная изменчивость приходящей солнечной радиации*, а также низкая теплоемкость деятельного слоя суши по сравнению с деятельным слоем океана. Это влечет за собой, с одной стороны, быстрое нагревание поверхности в теплое время года при больших значениях суммарной солнечной радиации, а с другой – ее интенсивное выхолаживание за счет длинноволнового (теплового) излучения при низких значени-

---

<sup>1</sup> Фёном называют ветры, возникающие в том случае, если на пути крупномасштабного воздушного потока появляется горное препятствие. В этом случае воздух вынужден динамически подниматься по наветренному склону, переваливать через препятствие и опускаться вниз как под действием перепада давления, так и под действием силы тяжести [14,22].

ях суммарной радиации (после дня осеннего равноденствия). В силу низкой теплоемкости деятельный слой быстро теряет накопленную энергию и остывает. Это одна из главных причин коротких периодов межсезонья в АСЭ. Таким образом, большая амплитуда годовой температуры (рис. 3.3), которая в среднем составляет 30–40°C, напрямую связана с особенностями радиационного баланса и теплофизических свойств деятельного слоя суши.

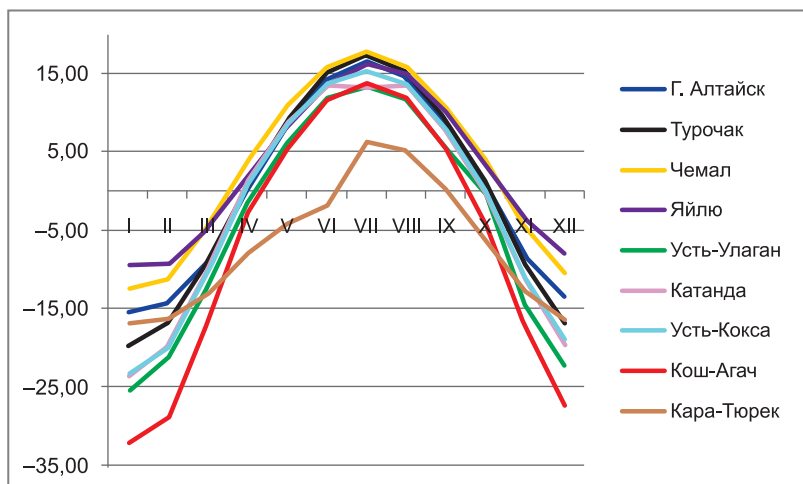
Следующим по значимости фактором является *влияние рельефа*, которое проявляется в двух особенностях:

1) существенное уменьшение среднегодовой температуры с ростом абсолютной высоты над уровнем моря (рис. 3.4) Это связано с общей закономерностью – уменьшением температуры с высотой (адиабатическое изменение температуры) [17,19]. Адиабатический закон изменения температуры гласит: чем ниже давление газа, тем меньше его температура, и наоборот. С высотой понижается давление воздуха, а следовательно, и его температура. Средний планетарный вертикальный градиент температуры составляет 0,65°C/100 м. Однако этот закон справедлив для свободной атмосферы. В горах адиабатическое изменение невозможно – осуществляется приток энергии от подстилающей поверхности и скал, от местных атмосферных циркуляций и т. д. Поэтому в горах величина падения температуры с высотой несколько меньше (по некоторым оценкам, 0,5°C). Отметим, что речь идет о средних величинах. В отдельных ситуациях температура в горах с высотой может не меняться, а иногда даже расти. В целом, в горах АСЭ на высоте 500–600 м н. у. м. происходит переход среднегодовой температуры через 0°C в сторону отрицательных значений, а выше 1500 м н. у. м. – через –4°C, что соответствует переходу к суровому высокогорному климату (см. рис. 3.3, б). На станции Каратюрк (см. рис. 3.4) на высоте 2600 м. средняя годовая температура составляет –7°C – это соответствует климатическим условиям мыса Челюскин (Таймыр), т. е. арктическому климату. Средняя температура июля равна +6°C, продолжительность периода с температурой воздуха выше 0°C – 90 дней;

2) существенные вариации годовой амплитуды температуры и ее среднемесячных значений в зависимости от географического положения района (см. рис. 3.3). Эти вариации определяются, с одной стороны, положением района в пространстве, а с другой – особенностями рельефа и наличием крупных водных объектов. Так, максимальная годовая амплитуда, превышающая +40°C, характерна



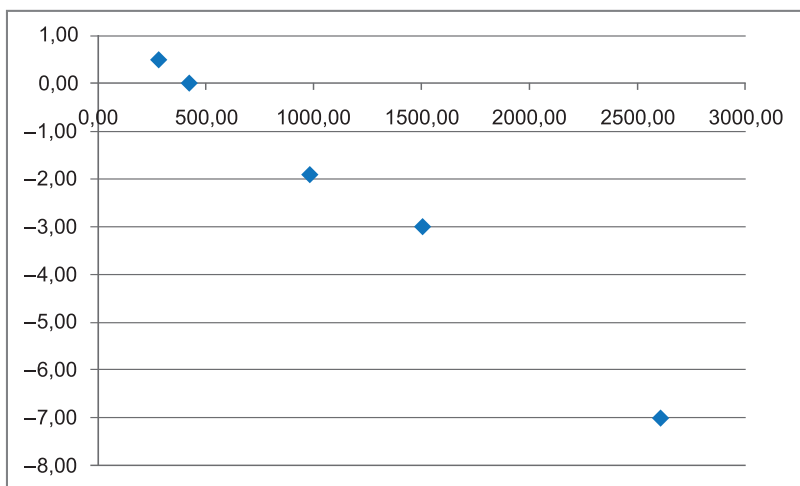
для сухих степей и полупустынь Монголии, а также степей в межгорье Алтая и Саян (станции Кош-Агач, Усть-Улаган). Вместе с тем в некоторых высокогорных районах годовая амплитуда температура не превышает  $+25^{\circ}\text{C}$  за счет очень теплых зим (например, станция Яйлю, где средняя температура января  $-9,4^{\circ}\text{C}$ ). Такие резкие изменения связаны с влиянием фёновой циркуляции. Опускание воздуха приводит к его адиабатическому нагреванию. В районах, где повторяемость фёнов велика, они играют огромную климатообразующую роль. Помимо влияния местных ветров, немалую роль играет режим облачности. В высокогорных районах число облачных дней, в среднем, на 30% выше, чем в предгорьях и на равнинах. Это сказывается на радиационном балансе и, следовательно, на температурном режиме. Кроме того, определенную роль играют крупные водные объекты, которые делают климат теплее.



**Рис. 3.3.** Годовой ход температуры по некоторым метеорологическим станциям АСЭ, по оси абсцисс – месяцы (I – январь, II – февраль, и т.д.), по оси ординат – среднемесячные температуры по станциям (в градусах Цельсия)

### ***Влияние крупномасштабных атмосферных процессов.***

Появление большей части местных ветров, которые влияют на горный климат, определяется крупномасштабными синоптическими процессами. На территории АСЭ они весьма разнообразны и являются причиной очень большой внутрисезонной изменчивости температуры.



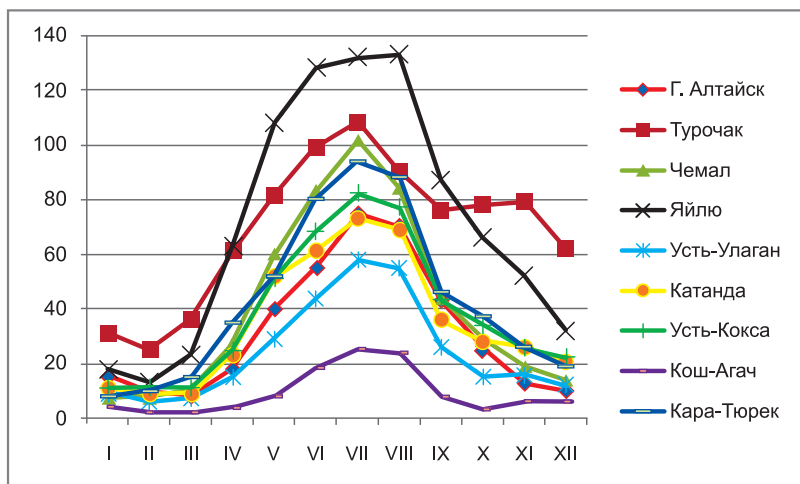
**Рис. 3.4.** Пример изменения среднегодовой температуры воздуха с высотой по профилю «Горно-Алтайск – Кара-Тюрек»; по оси абсцисс, высота над уровнем моря (в метрах), по оси ординат – температура (в градусах Цельсия)

**Режим увлажнения.** В целом можно выделить четкое уменьшение годовой суммы осадков с запада на восток (примерно вдвое). Это связано с преобладанием западного переноса воздушных масс. Северные макросклоны увлажнены значительно больше, чем южные, которые обращены к пустыням и полупустыням Монголии и Средней Азии. Например, годовая сумма осадков на северных и западных склонах Катунского хребта составляет 1500–1700 мм, в то время как расположенные всего в 100–150 км к востоку южные склоны Чуйского и Бийского хребтов получают всего 300–500 мм осадков за год. Такие пространственные различия увлажнения убеждают исследователей в том, что ограничиваться общей климатической характеристикой при детальном изучении природной среды Алтае-Саянского региона нельзя.

Главными факторами, определяющими пространственно-временную структуру поля осадков, являются крупномасштабная атмосферная циркуляция (синоптические процессы) и орографическое влияние. Влияние атмосферной циркуляции уже рассмотрено выше. В зимнее время над регионом преобладает антициклональный режим погоды – зима морозная и относительно сухая. Около 65–80% осадков выпадает в теплый период года (с температурой выше 0°C), когда

над регионом активизируется так называемая монгольская ветвь полярного фронта. Активизируются процессы местного циклогенеза, кроме того, в регион проникают циклоны со Средиземного, Черного и Каспийского морей. Летние осадки в подавляющем большинстве представляют собой ливневые дожди, нередко сопровождающиеся грозами, градом и шквалами. На северных и западных макросклонах Алтая и Саян немалую роль в формировании кучево-дождевой облачности, вызывающей ливневые дожди, играет местная конвекция и горно-долинная циркуляция. Именно ливневой характер летних осадков определяет их большую, по сравнению с зимними, пространственную неоднородность (рис. 3.5). Так, на метеостанции Яйлю сумма осадков за летний период достигает 400 мм, в то время как на станции Кош-Агач она не превышает 70 мм, т. е. почти в 6 раз меньше. Помимо характера выпадения осадков важнейшую роль, как уже отмечалось выше, играет ориентация макросклона.

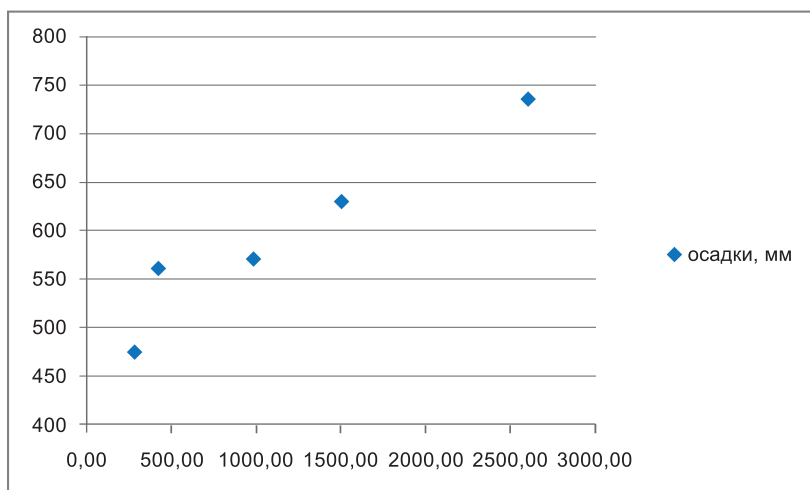
На рисунке 3.6 представлен плювиометрический градиент [2] – зависимость годовой суммы осадков от высоты на примере профиля «Горно-Алтайск – Кара-Тюрек».



**Рис. 3.5.** Годовой ход осадков по некоторым метеорологическим станциям АСЭ, по оси абсцисс – месяцы (I – январь, II – февраль, и т.д.), по оси ординат – месячные суммы осадков (в миллиметрах слоя воды)

Увеличение как годовой, так и месячной сумм осадков с высотой на наветренных склонах Алтая и Саян связано с орографическим эффектом, который выражается в усилении восходящих токов воздуха при набегании воздушного потока на горные препятствия. В среднем в высокогорных районах Алтая (выше 2000 м н. у. м.) сумма осадков в 1,5–2 раза больше, чем на равнинных станциях Алтая (Барнаул, Горно-Алтайск).

Несмотря на небольшую сумму осадков по каждому зимнему месяцу (10–15 мм), в среднем по региону за холодный период их выпадает около 60–80, а местами и 150 мм. Это связано с большой продолжительностью периода с отрицательной температурой (в среднем 6 месяцев). Кроме того, в осенние и весенние месяцы суммы осадков по всему региону существенно возрастают – сказывается менее выраженное по сравнению с зимой влияние сибирского антициклона и, следовательно, усиление циклонической деятельности на полярном фронте. Все это приводит к формированию довольно мощного снежного покрова. На северных и западных склонах Алтая его величина составляет около 50 см, а местами доходит и до 1 м.



**Рис. 3.6.** Пример изменения годовой суммы осадков с высотой по профилю «Горно-Алтайск – Кара-Тюрек», по оси абсцисс – высота над уровнем моря (метры), по оси ординат – годовая сумма осадков (в миллиметрах слоя воды)

**Некоторые количественные оценки изменчивости климатических характеристик.** В завершение краткого климатического обзора остановимся на некоторых простейших характеристиках пространственной изменчивости температуры и осадков на территории АСЭ. В таблице 3.1 приведены среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха и осадков, осредненные по данным 25 станций, работавших в АСЭ в 1960–1990 гг.

Таблица 3.1

**Простейшие статистические характеристики температуры и осадков на территории АСЭ по данным 25 станций (1960–1990 гг.)<sup>1</sup>**

Метеорологическая величина	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$T$ , °C	-19,3	-16,8	-9,8	-0,8	6,4	11,6	13,9	12,4	7,0	-0,5	-10,3	-16,5	-1,9
$\sigma T$ , °C	6,6	5,4	4,0	3,6	4,3	4,8	3,6	3,4	3,2	3,4	4,5	5,6	4,4
$P$ , мм	12	10	14	29	49	72	79	73	42	32	27	22	459
$\sigma P$ , %	67	71	85	69	52	47	36	37	53	72	69	77	61

<sup>1</sup>  $T$ , °C – температура воздуха, осредненная по 25 станциям АСЭ;  $\sigma T$ , °C – пространственное среднеквадратическое отклонение температуры по данным 25 станций АСЭ;  $P$ , мм, – сумма осадков, осредненная по 25 станциям АСЭ;  $\sigma P$ , % – пространственное среднеквадратическое отклонение температуры по данным 25 станций АСЭ, приведенное в процентах от суммы, осредненной по всему региону.

Средние значения приведены в таблице для иллюстрации общих особенностей климата: большой годовой амплитуды температуры (31,7°С), свидетельствующей о ярко выраженной континентальности климата, наличия холодных, местами суровых (на большей части территории средняя температура всех зимних месяцев менее –15°С) зимних и умеренно-теплых летних сезонов (температура всех летних месяцев, за исключением пустынных районов, выше +10°С, но менее +20°С); наличие ярко выраженного годового хода осадков (в среднем в период с мая по сентябрь включительно выпадает 69% от всей годовой суммы осадков). Однако в столь сложном регионе средние значения не отражают климатической картины. Об этом свидетельствует огромная пространственная изменчивость характеристик, существенно превышающая вариации межгодовых изменений температуры и осадков как по отдельно взятым месяцам, так и по годам. Так, даже среднегодовое стандартное отклонение температуры составляет по территории АСЭ 4,4°С, достигая по отдельно взятым месяцам 6–7 °С.

Средняя пространственная изменчивость осадков – 60% от осредненной величины. Столь крупные различия вполне понятны – согласно климатической типизации Кёппена, в регионе совершенно разные климатические условия: на севере – умеренный континентальный климат с нормальным увлажнением, а в китайской и монгольской части региона – пустынный тип климата. Огромную роль играют экспозиция склона и абсолютная высота над уровнем моря.

Таким образом, хорошо видно, что климатическое районирование данного региона – весьма сложная задача. Помимо традиционно выявления горных климатических поясов, не следует забывать об обозначенном выше пространственном различии метеорологических величин (в особенности осадков), что требует организации довольно густой сети метеорологических станций в пределах Алтае-Саянского экорегиона.

## **3.2. Рекомендации по установке автоматических станций на территории АСЭ**

### **3.2.1. Принципы выбора точек метеорологических наблюдений**

Вопрос о выборе места наблюдения с помощью АМС и проблемы, которые неизбежно появляются при работе с ними, подробно рассматривались в главах 1–2. Здесь даны рекомендации о выборе точек. Выбор примерных точек метеорологических наблюдений в горах АСЭ проводился по следующим принципам:

- наблюдения в пределах каждой из ООПТ должны быть привязаны к так называемой базовой точке, т. е. к ближайшей метеорологической станции Росгидромета (или какого-либо другого ведомства), либо к автоматической станции, установленной в рамках данного проекта, на субгоризонтальной поверхности в предгорных районах (т. е. фактически на равнине или в долине крупной реки), точность измерений на которых соответствует стандартам Росгидромета (см. гл. 1). Тогда сравнения данных наблюдений в горах с данной точкой будут более или менее корректными. На «базовой» точке должен проводиться весь спектр метеорологических наблюдений, включая актинометрические, должны выполняться требования к ним, изложенные в главе 1;
- метеорологические наблюдения должны проводиться вдоль макросклонов хребтов или в пределах речных долин в нескольких типичных зонах высотной поясности. То есть на одном макросклоне (или в пределах одной долины) должно находиться несколько станций на расстоянии не более 20 км по горизонтальному проложению. Следует отметить, что и слишком близкое расположение станций друг от друга (менее 5 км) не имеет смысла;
- значительная часть метеорологических станций должна находиться вблизи верхней границы леса для того, чтобы обеспечить информацией исследователей ее динамики;
- несколько метеорологических станций (2–3) должны быть расположены на ледниках для обеспечения гляциологических расчетов данными о метеорологическом режиме, а в идеале – о составляющих теплового баланса ледника. Эти метеорологические станции в обязательном порядке нужно укомплектовать радиационными датчиками (выполняющими измерения радиационного баланса).

Следует отметить, что вне зависимости от задач мониторинга наблюдения должны проводиться по стандартной методике, которая описана в главах 1–2. Однако в некоторых случаях возможны отклонения от стандарта. Так, если метеорологические наблюдения необходимы для оценок, например, биопродуктивности лесных ландшафтов, то измерять метеорологические характеристики на классической метеорологической площадке, описанной в главе 1, не имеет смысла. В этом случае станция может располагаться в лесу, измеряя метеорологические величины в конкретных физических условиях. Конечно, в этом случае измерять скорость и направление ветра, а также количество осадков бессмысленно. Речь может идти только об оценке количества атмосферной влаги, попадающей на земную поверхность в условиях леса, что, возможно, полезно для исследований соответствующих экосистем. Ниже приведен пример размещения метеорологических станций по ООПТ Алтае-Саянского экорегиона.

### **3.2.2. Пример выбора точек метеорологических наблюдений**

Российская часть Алтае-Саянского экорегиона включает 12 ООПТ (11 – федерального уровня), на каждой из которых планируется организация и проведение гидрометеорологических наблюдений. Изучение информации по всем объектам каждой из 12 ООПТ позволило определить количество метеорологических станций, необходимых для мониторинга, а также выявить их оптимальное местоположение.

**Заповедник «Азас».** Преобладают тундровые высокогорья, подгольцово-редколесные среднегорья с кедровыми и лиственничными лесами; низкогорья с сосново-лиственничными, иногда остепненными лесами; возвышенные равнины с сосновыми и лиственничными лесами, лесостепями и остепненными лугами. То есть для данной ООПТ характерны горно-лесные, горно-тундровые и лесостепные ландшафты. Выделяются три ключевых объекта – озеро Азас, хребет Кадыр-Эги-Тайга и Кара-Тешский голец. Основные направления работ по данной ООПТ – мониторинг верхней границы леса, альпийских экосистем в восточной части экорегиона, термического режима многолетнемерзлых грунтов, а также экосистем озера Азас. Диапазон высот над уровнем моря колеблется от 900 до 2400 м н. у. м. С точки зрения изменчивости метеорологических параметров главную роль в пределах данной ООПТ будет играть рост высоты над уровнем моря.



С 2000 г. на берегу озера Азас (около 1000 м н. у. м.) уже работает одна метеорологическая станция Росгидромета. Соответственно, на данной ООПТ интерес представляют метеорологические наблюдения на субгоризонтальных поверхностях Кара-Тешского гольца на высоте 1900–2000 м н. у. м. Эта территория, согласно исследованиям, перспективна для мониторинга верхней границы леса. Ее относительная орографическая однородность позволяет организовать метеорологические наблюдения согласно правилам, изложенным в главе 1. Кроме того, представляется возможным сопоставить результаты измерений с данными метеостанции Росгидромета на озере Азас. Разница высот между двумя станциями не превысит 1000 м.

**Заповедник «Алтайский».** Этот район представлен гляциально-нивальными высокогорьями, тундровыми, тундрово-криофитностепными, альпийскими и субальпийскими луговыми экосистемами. В ООПТ входят также среднегорья с пихтовыми и лиственничными лесами и низкогорья с кедровыми лесами. Встречаются также межгорные котловины тундровые и тундрово-криофитностепные. Диапазон высот фактически охватывает все высотные пояса Алтая: (350–3500 м н. у. м.). Поэтому представляется целесообразным проведение метеорологических наблюдений в каждой из характерных экосистем. На ООПТ есть метеопосты Чири и Беле, данные измерений которых отражают микроклиматические особенности таежных экосистем. Имеет смысл разместить метеорологические станции далее по Кыгинскому высотному профилю. Одну из станций следует установить в пологой части горной тайги на открытой площадке (см. гл. 1) (высота 1200–1700 м), вторую – в экосистеме высокогорной тундры (высота – 2300–2500 м). Есть смысл разместить еще одну станцию над примитивной растительностью каменистых мохово-лишайниковых тундр или каменистых пустынь Джулукульской межгорной котловины (высота 3200 м). Данные этих наблюдений позволяют выявить интересные особенности распределения осадков по высотному профилю по мере увеличения абсолютной высоты над уровнем моря. Длительные наблюдения такого рода в разных ООПТ Алтае-Саянского экорегиона помогут определить плювиометрический коэффициент для данного района, который количественно отражает изменения осадков с ростом абсолютной высоты при различных синоптических ситуациях. Также можно выявить закономерности изменения с высотой температуры в горных регионах и, что еще ценнее, компонентов радиационного ба-

ланса (в том случае, если станции будут оснащены актинометрическими датчиками).

Кроме того, интересными представляются основные метеорологические наблюдения над водной поверхностью Телецкого озера. Микроклиматические различия между озером и таежными территориями будут значительными и во многом окажутся типичными для Алтае-Саянского экорегиона, для которого характерно большое количество озер. Микроклиматический режим озера, скорее всего, определяет тип растительности в его прибрежной зоне. Кроме того, Телецкое озеро – уникальный природный объект международного значения, в настоящее время ведутся активные исследования его экосистемы, что невозможно без метеорологических и гидрологических измерений.

**Заповедник «Катунский».** Этот район типичен для северного макросклона Катунского хребта, на территории ООПТ представлены экосистемы гляциально-нивальных высокогорий, тундровые, альпийские и субальпийско-луговые, а также кедровые и лиственнично-кедровые леса среднегорья. Диапазон высот 1300–3300 м н. у. м. В высокогорной части района много ледников. Метеорологические наблюдения имеет смысл проводить по профилю Мультинской долины (от верхней границы леса до ледника Томич, на котором с 1960 г. выполняются гляциологические работы). Эти наблюдения района заповедника позволят получить количественную информацию об изменениях с высотой метеорологических характеристик на северном макросклоне. Также имеет смысл установить метеостанцию в районе Тайменьего озера, бассейн которого расположен в самой увлажненной, западной части Катунского хребта. Это поможет определить максимальную сумму осадков, выпадающих в горах Алтая, что, наряду с измерениями в других точках, позволит получить простейшие характеристики статистического поля осадков, которые существенно дополняют данные климатического мониторинга.

**Заповедник «Кузнецкий Алатау».** На этой ООПТ представлен типичный спектр высотной поясности западного макросклона хребта Кузнецкий Алатау. Здесь преобладают экосистемы тундрового высокогорья, альпийские луга среднегорья, а также низкогорья с кедровыми и подтаежными (черневыми) лесами. Диапазон высот 500 – 1500 м н. у. м. Метеорологические наблюдения имеет смысл проводить вдоль широтно ориентированной долины реки Верхняя Терсь, а также в долине реки Кия. Обоснования те же, что и для предыдущих районов.

**Заповедник «Саяно-Шушенский».** Большой интерес представляет долина реки Отуксук – репрезентативный объект южного макросклона Саянского хребта. Здесь метеорологические наблюдения имеет смысл проводить в горной тайге, вблизи верхней границы леса (1000–1200 м н. у. м.), а также в горной тундре (высота 2000–2200 м). Обоснования те же, что и для предыдущих районов.

**Заповедник «Столбы».** Этот район интересен наличием реликтовых участков холодных степей, исчезнувших в связи с общим потеплением климата в голоцене. Представляется важным выявить микроклиматические различия между экосистемами холодных степей и экосистемами обычных степных ландшафтов, характерных для региона.

**Заповедник «Тигирекский».** Здесь представлены экосистемы макросклонов Тигирекского хребта северной и южной экспозиции. Диапазон высот в пределах данной ООПТ – 500–2500 м н. у. м. Как для северного, так и для южного макросклона типичными являются следующие экосистемы: таежные леса, березовое криволесье, альпийские луга, горные тундры и нивальные экосистемы. В случае Тигирекского заповедника различия в экспозиции проявляются не в наличии разных типов экосистем, а в различных диапазонах высот их расположения (имеется в виду высота над уровнем моря). Например, если на склонах северной экспозиции верхняя граница леса проходит примерно по изогипсе 1500 м н. у. м., то на склонах южной экспозиции – 2000 м н. у. м. Представляется целесообразным установить три метеостанции в бассейне правых притоков реки Большая (северный макросклон Тигирекского хребта), причем одну – на открытом участке в лесной зоне, вторую – вблизи верхней границы леса, в зоне криволесья или тундры, а третью – в нивальном поясе. На южном макросклоне (бассейн реки Белая) имеет смысл установить метеорологические станции в тех же экосистемах (горная тайга, альпийские луга, вблизи верхней границы леса, а также в пределах нивальных экосистем). Это позволит количественно оценить различия климатического и погодного режимов склонов разных экспозиций на двух разных высотах (в среднем 600 и 1600 м н. у. м.), а также обеспечить данными исследования верхней границы леса. Имеет смысл также установить метеостанцию в лесостепной зоне низкогорных районов северо-западного Алтая. Эта станция может стать «реперной» для метеорологических наблюдений в северо-западной и западной частях Алтае-Саянского экорегиона.

**Заповедник «Убсунурская котловина».** Заповедник находится на стыке Алтая и Саян, здесь представлены высокогорные ландшафты восточной части Алтае-Саянского экорегиона, типичный спектр высотной поясности северо-восточного макросклона горного массива Монгун-Тайга (ледники и нивальные экосистемы, горные тундры, альпинотипные и субальпийские луга). Диапазон высот в пределах данной ООПТ 1700–3900 м н. у. м. Метеорологические наблюдения имеет смысл проводить в контрастных условиях – на типичных субгоризонтальных участках степей, альпийских лугов, горных тундр и горных ледников.

**Заповедник «Хакасский».** Заповедник расположен в северной части Республики Хакасия, диапазон высот – 500–2400 м н. у. м. В глубоких межгорных котловинах преобладают степные экосистемы, до уровня 1200 м – кедровые и лиственничные леса, далее – альпийские и субальпийские луга и горные тундры. Метеорологические наблюдения имеет смысл проводить в степной зоне, а также по профилю вдоль склонов хребтов Чукчут или Шаман. Целесообразно установить две метеостанции: на открытой субгоризонтальной площадке вблизи верхней границы леса, а также на плоских горных вершинах. Это даст возможность получить информацию о метеорологическом режиме вблизи верхней границы леса, а также сопоставить данные, полученные с различных абсолютных высот.

**Национальный парк «Шорский».** Здесь представлены в основном горно-таежные экосистемы. Большим разнообразием ландшафтов эта ООПТ не отличается.

Учитывая относительную однородность территории, представляется возможным ограничиться данными метеостанции города Таштагол (в том случае, если она расположена не в области городской застройки или промзоны, а в естественных условиях). Можно расположить еще одну автоматическую метеостанцию, которая обеспечит дополнительные данные об этом таежном массиве (например, в верховьях реки Мрас-Су).

**Национальный парк «Шушенский бор».** Половину территории парка занимают кедровые леса, диапазон высот над уровнем моря – 500–1500 м. Представляется целесообразным разместить одну из метеостанций на субгоризонтальной открытой поверхности в лесном массиве, вторую – вблизи верхней границы леса. Обоснования те же, что и для предыдущих районов.

**Природный парк «Ергаки».** Это территория горного массива Западных Саян (хребет Ергаки), диапазон высот – 500–2500 м н. у. м. Имеют смысл профильные наблюдения вдоль доступного (проходимого) склона хребта. Одну метеостанцию целесообразно разместить у подножия хребта, в речной долине, вторую – вблизи верхней границы леса, третью – в зоне горной тундры.

Таблица. 3.2

**Организация метеорологических наблюдений в Алтае-Саянском экорегионе**

ООПТ	Район метеонаблюдений	Высота над уровнем моря, м	Характеристика района
Азас	Кара-Тешский голец	1900–2000	Горные тундры, кедровое редколесье
Алтайский	Кыгинский высотный профиль	1200–1700	Горная тайга
		2300–2500	Горная тундра
	Джулукульская межгорная котловина	3200–3500	Каменистая пустыня
	Телецкое озеро	440	Озеро в таежном районе
Катунский	Бассейн реки Мульта	1700–1900	Верхняя граница леса
		2400–2600	Горная тундра или альпийские луга
		3000–3200	Поверхность ледника Томич
	Бассейн Тайменьего озера	1900–2100	Озеро в тундровом районе, сочетание горной тайги и альпинотипных лугов
Кузнецкий Алатау	Бассейн реки Верхняя Терсь	500–600	Тайга
		900–1000	Альпийские луга
		1300–1400	Горная тундра
Саяно-Шушенский	Долина реки Отуксук	500–600	Горная тайга
		1000–1200	Верхняя граница леса
		2000–2200	Горная тундра
Столбы	Холодные реликтовые степи	400–600	Степь

ООПТ	Район метеонаблюдений	Высота над уровнем моря, м	Характеристика района
Тигирекский	Бассейн правых притоков реки Б. Тигирек	500–700	Горная тайга
		1000–1200	Верхняя граница леса
		1500–1700	Горная тундра или нивальный пояс
	Бассейн реки Белая	700–900	Горная тайга
		1500–1700	Верхняя граница леса
		1800–2000	Горная тундра или нивальный пояс
Лесостепь северо-западного Алтая	600–700	Лесостепь	
Убусунурская Котловина	Ледник и бассейн ручья Мугур	1700–1900	Альпийские или субальпийские луга
		2500–2700	Горные тундры
		3200–3400	Поверхность ледника
	Песчано-степной участок «Цугээр-Элс»	400–600	Сухая степь
Хакасский	Участок «Подзаплотный»	500–600	Сухая степь
	Хребет Чукчут	1100–1300	Верхняя граница леса
		1700–1800	Горная тундра
Шорский	Верховья р. Мрас-Су	500–600	Горная тайга
Шушенский Бор		600–700	Кедровые леса
		1200–1300	Верхняя граница леса
Ергаки	Подножие хребта	500–700	Горная тайга
	Средняя часть склона	1200–1300	Верхняя граница леса
	Верхняя часть склона	2000–2200	Горная тундра

Таким образом, для того чтобы получить более или менее надежную метеорологическую, а в перспективе климатическую информацию по различным природно-территориальным комплексам Алтае-Саянского экорегиона, необходимо установить 35–40 автоматических метеостанций, измеряющих хотя бы основные характеристики (температуру и влажность воздуха, осадки, скорость и направление ветра, температуру поверхности почвы и температуру почвы на нескольких глубинах). В среднем в каждой ООПТ должны работать 3–4 автоматические метеостанции.

### 3.3. Первичная обработка данных наблюдений

#### 3.3.1. Фиксация показаний, накопление и хранение данных

Как было показано в главе 1, временная дискретность метеорологических наблюдений зависит от поставленных задач. В рамках экологического мониторинга Алтае-Саянского региона следует ограничиться ежечасной фиксацией величин. В том случае, если будет развернут полный спектр наблюдений, в том числе градиентных, на ледниках, частоту измерений следует увеличить хотя бы до 30 мин. В главе 2 приведены основные технические характеристики станции НОВО У32, в частности, отмечено, что накопитель (logger) станции рассчитан на 500 тыс. измерений. Это означает, что если ограничиться основным набором метеорологических величин (атмосферное давление, температура воздуха, парциальное давление водяного пара, относительная влажность, скорость ветра, направление ветра, сумма осадков, интенсивность осадков, температура поверхности почвы (или воды), то окажется, что в случае ежечасных наблюдений памяти накопителя хватит почти на 6 лет. Однако опыт работы в полевых условиях с метеорологическими станциями показывает, что перемещать данные с накопителя на жесткий диск ПК или внешние устройства лучше не реже чем один раз в 2 недели. Это связано, во-первых, с относительно небольшой автономностью большинства станций, в том числе и НОВО. Например, без солнечной батареи НОВО может работать в автономном режиме (от аккумулятора) 30 дней. Учитывая возможные технические проблемы (нарушения контактов, механические повреждения и т. д.), переносить данные на ПК или информационные носители следует как можно чаще.

Вообще, временная дискретность наблюдений может быть любой – вплоть до минутной. Главное получить большой массив информации. Как правило, высокодискретные измерения выполняются с целью детального изучения локальных эффектов атмосферной циркуляции (бризы, горно-долинные ветры, фёны), а также в рамках задач детального изучения временной структуры метеорологических рядов. Если такая временная детализация требуется и для экологических задач, то, пользуясь возможностями станции НОВО, можно установить соответствующую временную дискретность. Например, важными величинами для экологических и ландшафтных исследований могут быть экстремальные значения температуры, влажности воздуха и атмосферных осадков.

В целом, учитывая географо-экологическую направленность поставленных задач, рекомендуемой временной дискретностью следует считать 30-минутный промежуток.

### 3.3.2. Некоторые методы обработки данных наблюдений

Обработка и анализ метеорологических наблюдений составляют значительную долю всех исследований в области метеорологии. Поэтому здесь речь пойдет только о некоторых простейших методах обработки гидрометеорологической информации, без которых ее анализ невозможен. На практике алгоритм обработки данных зависит от задач организованных гидрометеорологических наблюдений.

Текстовый формат, в котором записываются данные НОВО 30, позволяет легко экспортировать их в любой программный пакет, предназначенный для статистической обработки (Excel, Statistica и т. д.). Кроме того, некоторые простейшие операции (вычисление средних, поиск максимальных и минимальных значений) можно выполнять с помощью программы НОВОware, которая описана в главе 2. Подробно с программой можно ознакомиться в ее описании [17]. Ниже приведен перечень простейших операций, которые, как правило, необходимо выполнять для анализа данных основных метеорологических наблюдений.

**Атмосферное давление, температура, характеристики влажности.** Получив данные измерений этих величин, имеет смысл выполнить следующие простейшие действия.

1) выполнить осреднение данных по времени, используя следующую формулу:

$$\bar{f}(r) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f^j(r), \quad (3.1)$$

где  $\bar{f}(r)$  – значение метеорологической величины, осредненное по времени, в точке наблюдений  $r$ ;  $f^j(r)$ , – значение метеорологической величины в срок наблюдений  $j$ ;  $N$  – число сроков наблюдений.

Величина  $f(r)$  характеризует среднее из всех возможных значений в данной точке. Масштабы осреднения могут быть разными и выбираются, как правило, исследователем. В метеорологии приняты следующие виды осреднения: полусуточное (ночное и дневное время суток), суточное, пентадное (по пятидневкам), декадное (по десятидневкам), месячное, сезонное, годовое, 30-летнее. Последний период рекомендован ВМО и является «климатическим». Например, современный климат



характеризуют основные метеорологические величины, осредненные за период 1961–1990 гг. После 2020 г. будут введены новые нормы, охватывающие период 1991–2020 гг. Все так называемые климатические нормы (дневные, ночные, суточные, месячные, годовые) являются результатом осреднения за период 1960–1990 гг. На метеорологических станциях, открытых до 1960 года и не прерывавших наблюдений, обязательно должны иметься таблицы норм. По некоторым станциям эти нормы можно найти в Интернете. Когда говорят об аномалиях метеорологических величин, то речь обычно идет об отклонениях от климатического среднего, полученного за период 1960–1990 гг. Для отдельно взятых суток считают отклонения от среднего многолетнего значения для этих суток, для месяца – отклонение от среднего многолетнего месячного значения, и т. д. В общих чертах считается, что значение метеорологической величины аномальное в том случае, если оно превышает значение среднеквадратического отклонения по времени, резко аномальное, если оно превышает удвоенное значение среднеквадратического отклонения, и экстремальное в том случае, если величина аномалии превышает утроенное значение среднеквадратического отклонения. Диапазон аномалии зависит от характера изменчивости величин, которая, для каждого региона, вообще говоря, своя. Так, очевидно, что в условиях морского климата изменчивость метеорологических величин существенно меньше, чем, например, для резкоконтинентального климата. Тем не менее, ВМО рекомендованы общие диапазоны аномалий. Для температуры и осадков эти диапазоны приведены в в таблице 3.3.

Таблица 3.3

**Диапазоны аномалий приземной температуры воздуха,  
рекомендованные ВМО**

	Сутки	Месяц	Сезон	Год
<b>Очень холодно</b>	$\Delta T \leq -7$	$\Delta T \leq -4$	$\Delta T \leq -3$	$\Delta T \leq -0,7$
<b>Холодно</b>	$-7 < \Delta T < -3$	$-4 < \Delta T < -1$	$-3 < \Delta T < -0,7$	$-0,7 < \Delta T < -0,4$
<b>Норма</b>	$-3 \leq \Delta T \leq 3$	$-1 \leq \Delta T \leq 1$	$-0,7 \leq \Delta T \leq 0,7$	$-0,4 \leq \Delta T \leq 0,4$
<b>Тепло</b>	$3 < \Delta T < 7$	$1 < \Delta T < 4$	$0,7 < \Delta T < 3$	$0,4 < \Delta T < 0,7$
<b>Очень тепло</b>	$\Delta T \geq 7$	$\Delta T \geq 4$	$\Delta T \geq 3$	$\Delta T \geq 0,7$

Когда анализируются статистические свойства ряда наблюдений, больший интерес, чем средние, представляют величины, характеризующие отклонения от среднего;

2) оценить дисперсию по времени  $D(r)$ . Важнейшей статистической характеристикой является временная изменчивость метеовеличин в точках, которая характеризуется дисперсией и определяется формулой:

$$D(r) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f^j(r) - \bar{f}(r))^2 \quad (3.2)$$

где:  $\bar{f}(r)$  – значение метеорологической величины, осредненное по времени, в точке наблюдений  $r$ ;  $f^j(r)$  – значение метеорологической величины в срок наблюдений  $j$ ;  $N$  – число сроков наблюдений.

Квадрат разности между величинами  $f^j(r)$  и их средним значением по времени  $\bar{f}(r)$  осредняется по числу измерений в соответствующей точке  $r$ . Дисперсия характеризует среднюю величину разброса данных наблюдений, т. е. изменчивость величины, в данном случае во времени. Чаще пользуются среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ , которое вычисляется как квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (3.3)$$

3) оценить эмпирическую функцию распределения. Функция распределения – одно из важнейших понятий математической статистики. Она позволяет оценить, а иногда и аналитически описать повторяемости различных значений метеорологических величин.

Итак, повторяемость метеовеличин (чаще диапазона их изменений) вычисляют так:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_N X_i, \quad (3.4)$$

где:  $P_x$  – повторяемость величины  $x$  (или некоторого промежутка величин, например, порывов ветра 15–20 м/с),  $\sum_N X_i$  – число случаев, когда данная величина (или диапазон) наблюдались,  $n$  – общая длина ряда наблюдений.

Для наглядности повторяемости записывают в процентах – для этого  $P_x$  умножают на 100.

Как правило, используя формулу (3.4), строят эмпирическую функцию распределения по данным наблюдений (рис 3.7), которую затем можно аппроксимировать аналитической (теоретической). Функция распределения строится для достаточно большого ряда наблюдений (по меньшей мере, несколько лет) и отдельно для холодного и тепло-

го периодов года. Построив эмпирическую функцию распределения и аппроксимировав ее функцией теоретической, можно легко получить количественные характеристики диапазона изменчивости метеорологических величин, в том числе четкие критерии «аномальности» метеорологических величин, которые позволят корректировать общепринятые диапазоны, приведенные в табл. 3.2.

Перечисленные простейшие статистические операции с рядом наблюдений (вычисление среднего, дисперсии, среднеквадратического отклонения, построение функции распределения) можно легко выполнить с помощью стандартного программного пакета Microsoft Excel.

**Скорость и направление ветра.** Для того чтобы данные измерений скорости и направления ветра, полученные с помощью АМС НОВО 30, можно было сопоставлять с результатами сетевых наблюдений (а это очень желательно), следует или измерять на уровне 10 м, или привести данные, полученные на 2 и 10 м. Это непростая задача, связанная с теорией приземного слоя атмосферы, ознакомиться с которой можно, например, в [12]. Проблема в том, что профиль ветра в приземном слое сильно зависит от условий стратификации, т. е. от скорости изменения температуры воздуха с высотой и от ее знака. В самом простейшем варианте привести скорость ветра к уровню 10 м можно, используя логарифмический закон изменения скорости ветра с высотой, который используется для безразличной стратификации и в некотором смысле отражает «средние» атмосферные условия. Однако этот закон может выполняться со значительными погрешностями в том случае, если стратификация в приземном слое атмосферы сильно неустойчивая, т. е. температура с высотой интенсивно понижается, а также в случае неоднородной подстилающей поверхности. Подробно с проблемой приведения скорости ветра на разные уровни при различных метеорологических условиях можно ознакомиться в [12].

Итак, для безразличной стратификации над однородной поверхностью скорость ветра на высоте 10 м при измеренной скорости на уровне 2 м можно вычислить следующим образом:

$$u_2 = u_1 \ln \frac{z_2}{z_0} / \ln \frac{z_1}{z_0} \quad (3.5.)$$

где:  $u_2$  – искомая скорость ветра на высоте 10 м,  $u_1$  – скорость ветра, измеренная на уровне 2 м,  $z_1$  – высота 2 м,  $z_2$  – высота 10 м,  $z_0$  – уро-

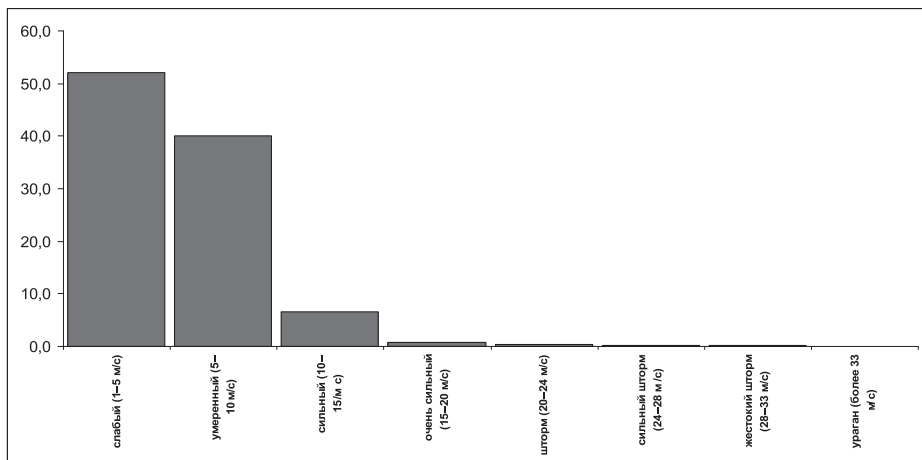
вень шероховатости (уровень, на котором скорость ветра обращается в ноль, определяется с помощью градиентных наблюдений ветра, в общем случае высота уровня шероховатости над травянистым покровом равна 10 см).

Статистические характеристики скорости ветра также можно оценить по формулам (3.1–3.4). Как правило, функция распределения скорости ветра подчиняется закону Вейбула. Распределение Вейбула используется для оценок вероятностей скоростей ветра различной обеспеченности. Функция распределения Вейбула выглядит так:

$$F(x) = e^{-Ax^k}, \quad (3.6)$$

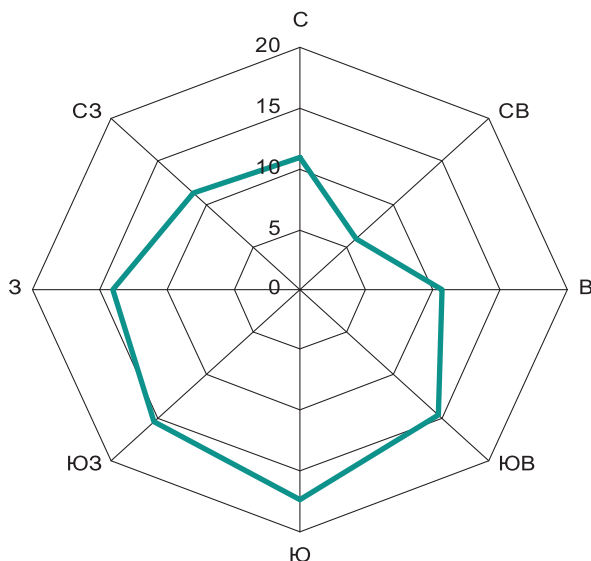
где:  $x$  – число случаев с заданным интервалом скорости ветра (например, через 5 м/с),  $A, k$  – параметры распределения. Они определяются для каждой точки наблюдения отдельно.

На рисунке 3.7 приведена эмпирическая функция распределения скорости ветра, которая хорошо описывается формулой (3.6). Используя известный пакет Excel, можно подобрать параметры распределения. В данном случае  $A=1,5, k=0,85$ .



**Рис.3.7.** Повторяемость порывов ветра (%) на уровне измерений (10 м) по данным метеостанции Осташков (ряд наблюдений 1950–2000 гг.)

Статистика направления ветра, как правило, отображается в виде наглядной диаграммы повторяемости ветров различных направлений (рис. 3.8), которая называется розой ветров. Ряд данных о направлении ветра ранжируется по 16 румбам. Далее строится соответствующая диаграмма.



**Рис.3.8.** Роза ветров, построенная по данным метеостанции Осташков (ряд наблюдений 1950–2000 гг.)

**Осадки.** Можно вычислять все те же характеристики, что и для представленных выше метеорологических величин. Следует только помнить, что, когда речь идет об осадках, вычисляют не средние значения, а суммы (за 12 ч, сутки, пентаду, декаду, месяц, сезон, год). Интерес также представляет построение эмпирической функции распределения интенсивности осадков (т. е. повторяемости осадков различной интенсивности). Статистическое распределение сумм осадков по времени (а также их интенсивностей), чаще всего подчиняется закону  $\chi^2$ . Подробно со статистическими методами обработки данных наблюдений за осадками (и другими метеорологическими величинами) можно ознакомиться в [10]. Построение функций распределения интенсивностей осадков позволит выявить значения и повторяемости аномалий для каждой станции.

При оценке аномальности месячных и сезонных сумм осадков  $P$  рекомендуется использовать следующую градацию:

- $P < 50\%$  от нормы – очень сухо (засушливые условия);
- $50 \leq P < 80\%$  – сухо;
- $80 \leq P < 120\%$  – нормальное увлажнение;
- $120 \leq P < 150\%$  – влажно;
- $P > 150\%$  – очень влажно (условия переувлажнения).

Для годовой суммы используют всего три градации:

- $P < 80\%$  от нормы – год характеризуется недостаточным увлажнением;
- $80 \leq P < 120\%$  – год характеризуется нормальным увлажнением;
- $P > 120\%$  – год характеризуется избыточным увлажнением.

**Потоки солнечной радиации.** Для анализа измерений радиационных потоков можно использовать тот же простейший статистический аппарат, что изложен выше. Однако необходимо помнить, что радиационные потоки не принято осреднять по срокам наблюдений. Как правило, при анализе компонент радиационного баланса, а также радиационных потоков в различных областях спектра (ультрафиолетовая, видимая, длинноволновая, и т. д.) переходят к суточным суммам радиации (особенно если речь идет об экологических исследованиях). Необходимо помнить, что мгновенные значения солнечной радиации получают в Вт/м<sup>2</sup>. (1 Вт = 1 Дж/сек). Таким образом, чтобы получить суточную сумму радиации, значения, измеренные с помощью датчиков метеостанции НОВО, нужно умножить на число секунд в сутках (86400). Полученную величину удобно перевести в мегаджоули (106 Дж) – именно таков порядок суточных сумм потоков лучистой энергии.

Необходимо понимать, что главным фактором, определяющим суточную сумму радиации, является облачность, которая не наблюдается с помощью АМС. Поэтому профессиональный анализ изменчивости радиационных потоков невозможен без наблюдений за баллом и типом облаков, которые пока что не представляется возможным организовать автоматизированно.

**Влагозапас снежного покрова.** Высота и плотность снежного покрова не измеряются с помощью АМС НОВО. Однако эти характеристики могут быть необходимыми для мониторинга гидрологического режима рек. Поэтому здесь приведена методика оценки запасов влаги в снежном покрове.

Методика проложения снегомерных маршрутов, измерений высоты и плотности снега, а также их частота изложены в главе 1. Плотность слоя снега считается делением массы пробы на ее объем. Масса пробы снега, определенная с помощью снегомера весового, равна  $5m$ , где  $m$  – отсчет по линейке весов, каждое деление линейки соответствует 5 г. Объем пробы снега равен произведению площадки поперечного сечения цилиндра снегомера ( $50 \text{ см}^2$ ) на высоту взятой пробы (отсчет по шкале цилиндра)  $50 h$  ( $\text{см}^3$ ). Исходя из этого плотность вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{5m}{50h} = \frac{m}{10h} \quad (3.7)$$

Итак, запас воды в толще снежного покрова вычисляется по формуле

$$Q = Q_s + Q_{sw} + Q_w + Q_i, \quad (3.8)$$

где:  $Q_s$  – запас воды в слое сухого снега,  $Q_{sw}$  – запас воды в слое снега, насыщенном водой,  $Q_w$  – запас воды в слое талой воды,  $Q_i$  – запас воды в ледяной корке.

Каждое из слагаемых оценивается отдельно на основе данных наблюдений. Запас воды в сухом снеге оценивается по формуле:

$$Q_s = 10\rho[h_s - (z_{sw} + z_w)], \quad (3.9)$$

где:  $\rho$  – средняя плотность снега, оцененная по (3.7);  $h_s$  – средняя высота снежного покрова без учета ледяной корки;  $z_{sw}$  и  $z_w$  – средние высоты слоя снега, насыщенного водой, и слоя талой воды, вычисленные по измерениям в точках определения плотности снежного покрова; 10 – коэффициент для перевода высоты слоя воды в миллиметры.

Запас воды в слое снега, насыщенного водой, вычисляется по формуле:

$$Q_{sw} = 10\rho_{sw}z_{sw} = 8z_{sw}, \quad (3.10)$$

где  $\rho_{sw}$  – плотность снега, насыщенного водой, которая равна  $0,8 \text{ г/см}^3$ .

Запас воды в слое талой воды вычисляется по формуле

$$Q_w = 10\rho_w z_w = 10z_w, \quad (3.11)$$

где:  $\rho_w$  – плотность талой воды, равная  $1 \text{ г/см}^3$ .

Запас воды в ледяной корке считается по формуле:

$$Q_i = \rho_i z_i = 0,8 z_i, \quad (3.12)$$

где  $\rho_i$  – плотность ледяной корки, которая равна 0,8 г/см<sup>3</sup>.

Итоговый влагозапас снежного покрова вычисляется по формуле (3.8.).

Полученные данные являются важнейшей гидрологической характеристикой, которая является основной количественной оценкой снегового питания рек, а также основой для прогноза половодья.

Простейшие пространственные связи между одними и теми же метеорологическими характеристиками в различных точках наблюдений вычисляются с помощью коэффициента парной корреляции:

$$m_f(r_i, r_k) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [f(r_i) - \bar{f}(r_i)][f(r_k) - \bar{f}(r_k)]}{\sigma_f(r_i) \sigma_f(r_k)}, \quad (3.13)$$

где  $f(r_i), f(r_k)$  – измеренные величины в точках  $r_i$  и  $r_k$ ;  $\bar{f}(r_i), \bar{f}(r_k)$  – средние по времени значения метеорологической величины  $f$ , измеренной в точках наблюдения  $r_i$  и  $r_k$ ;  $\sigma_f(r_i), \sigma_f(r_k)$  – стандартные отклонения, рассчитанные в точках  $i, k$  по формулам 3.2 – 3.3.

Как правило, используются средние климатические нормы для конкретных суток, месяца, года. Произведения отклонений от нормы в точках  $r_i$  и  $r_k$  осредняются по числу наблюдений  $N$ . Ряд наблюдений должен быть максимально однородным.

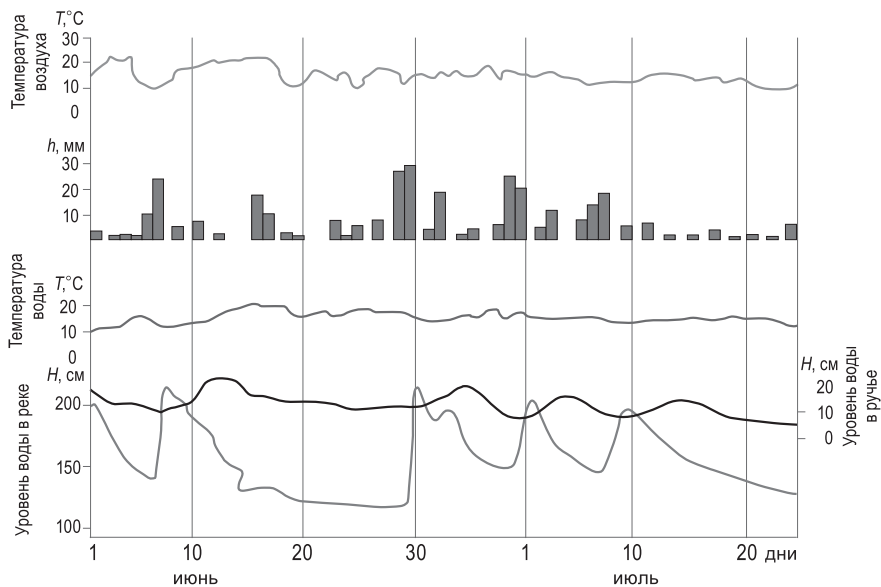
**Гидрологические характеристики.** К ним применим тот же аппарат обработки, что и к метеорологическим данным. Главными результатами гидрологических наблюдений являются кривые расхода и уровня воды, построенные за такие характерные периоды, как половодье, межень, паводки. Необходимо помнить, что расход воды с помощью АМС не измеряется. Поэтому для измерения расхода воды необходимо воспользоваться методами, описанными в разделе 1.2. главы 1.

Анализ гидрологических характеристик принято проводить в комплексе с метеорологическими, поскольку они неразрывно связаны между собой уравнением водного баланса. На рисунке 3.9 показан графический пример такого анализа.

Помимо гидрометрических наблюдений, можно организовать простейшие *гидрохимические измерения*. Опыт таких работ в Алтае-Саянском регионе уже имеется. В частности, коллектив гидрологов



МГУ им. М. В. Ломоносова проводил такого рода наблюдения в бассейне реки Мульта. Ознакомиться с методикой и результатами этих наблюдений можно в [19].



**Рис. 3.9.** Комплексный график колебания гидрометеорологических характеристик

## Литература

1. *Апполов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д.* Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
2. *Барри Д.* Погода и климат в горах. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
3. *Быков В. Д., Васильев А. В.* Гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
4. *Васильев А. В., Шмидт С. В.* Водно-технические изыскания. Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
5. *Гандин Л. С.* Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеоиздат, 1963.
6. *Гандин Л. С., Каган Р. Л.* Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
7. *Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И.* Физическая география СССР (Азиатская часть). М.: Высшая школа, 1987.
8. *Голубев Г. Н., Дюргеров М. Б.* Ледник Джанкуат. Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
9. *Давыдова М. И.* Алтайско-Саянская горная страна // Физ. география СССР. М.: Просвещение, 1966. С. 554–593.
10. *Исаев А. А.* Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988.
11. *Карасев И. Ф., Васильев А. В., Субботина Е. С.* Гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
12. *Лайхтман Д. Л.* Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970.

13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч.1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
14. *Прох Л. З.* Словарь ветров. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.
15. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
16. Руководство по теплобалансовым наблюдениям. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
17. Руководство пользователя для программы NOVOware (см. приложение 6).
18. *Семенченко Б. А.* Физическая метеорология: Учеб. М.: Аспект Пресс, 2002.
19. *Фролова Н. Л., Повалишников Е. С., Ефимова Л. Е.* Комплексные исследования водных объектов горного Алтая (на примере бассейна р. Мульты) – 75 лет спустя // Известия РАН. Географическая сер. 2011. №1, С.155–168.
20. *Чебакова Н. М., Парфенова Е. И.* Изменение климата и его влияние на горную растительность, экосистемы и виды в Алтае-Саянском регионе. // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11. № 3. С. 77-86.
21. *Хромов С. П., Петросянц М. А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2001.
22. *Хромов С. П., Мамонтова Л. И.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1955.

# Приложения\*

## Руководства пользователя

1. Инструкция к регистратору U30-NRC
2. Базовая станция BASE\_U\_1
3. Регистратор температуры и отн. влажности U23.
4. Регистратор уровня воды U20
5. Регистратор уровня осадков RG3.
6. Программа NOBOWareBHW-GS-web
7. Датчик атмосферного давления S-BPB
8. Датчик влажности почвы S-SMx
9. Датчик скорости и направления ветра S-WCA
10. Датчик температуры S-TMB
11. Датчик температуры относительной влажности S-TNB
12. Датчик уровня жидкости sdx\_octo7
13. Датчик уровня осадков S-RGX
14. Датчик фотосинтетически активного излучения S-LIA
15. Кремниевый пиранометр S-LIB

---

\* В электронном виде находятся на прилагаемом к публикации CD

**Торопов Павел Алексеевич  
Терентьев Борис Александрович**

**Гидрометеорологический мониторинг в экосистемах  
ООПТ Алтае-Саянского экорегиона**

Методическое пособие

Фото на обложке:

© *Виктория Элиас* / WWF России

Редактор: *Е.А. Воронкова*

Дизайн макета, верстка: *А.Ю. Филиппов*

Тираж: 100 экз.

Всемирный фонд дикой природы (WWF)  
109240 Москва, а/я 3  
ул. Николоямская, д. 19, стр. 3

Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ  
«Сохранение биоразнообразия в российской части  
Алтае-Саянского экорегиона»  
660062, Красноярск, ул. Крупской, 42, офис 514  
Тел./факс: (391) 247-91-12  
<http://www.altai-sayan.com>



**Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ  
«Сохранение биоразнообразия в российской части  
Алтае-Саянского экорегиона»**

660062, Красноярск, ул. Крупской, 42, офис 514

Тел./факс: (391) 247-91-12

<http://www.altai-sayan.com>



**Миссия WWF**

Остановить деградацию естественной среды планеты для достижения гармонии человека и природы.

[www.wwf.ru](http://www.wwf.ru)

**Всемирный фонд дикой природы (WWF):**

109240 Москва, а/я 3, ул. Никопольская, д. 19, стр. 3; тел: +7 (495) 727 09 39; факс: +7 (495) 727 09 38  
[russia@wwf.ru](mailto:russia@wwf.ru)