

History of hydrology
Asit K. Biswas
Amsterdam—London, 1970

Сокращенный перевод
с английского
Р. М. Солодовник
Под редакцией
и с послесловием
канд. геогр. наук
О. А. Спенглера

Предисловие
автора

В 65 Бисвас А. К.

Человек и вода. Л., Гидрометеиздат, 1975

288 стр. с илл.

Еще за три тысячи лет до нашей эры фараон Менес, по преданию, построил плотину на Ниле и направил его воды в канал. Около того же времени легендарный китайский император Юй учил своих подданных, как заставить реки подчиниться человеку. Эллины, первые, кто предпринял серьезную попытку понять законы природы, заложили основы науки о воде — гидрологии. Древние римляне создали одно из величайших достижений техники — акведуки.

Медленно проникал человек в тайны воды, не одна сотня лет потребовалась ему для того, чтобы заставить ее служить себе. Об этом трудном пути живо и интересно рассказывает книга А. К. Бисваса, адресованная не только специалистам-гидрологам, но и широкому кругу читателей.

Асит К. Бисвас ЧЕЛОВЕК И ВОДА

Редактор Л. А. Зельманова. Худ. редактор Б. А. Денисовский. Художник С. М. Малахов. Техн. редактор Л. М. Шишкова. Корректор В. И. Гинцбург.
Сдано в набор 28/XI 1975 г. Подписано к печати 1/VIII 1975 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 16,03. Индекс ПЛ-38. Тираж 70 000 экз.
Цена 1 р. 06. к. Заказ 5150.
Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23. Типография имени Анохина Управления по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.

Огюст Конт* писал, что нельзя по-настоящему овладеть какой-либо научной дисциплиной, не зная истории ее развития. Что касается гидрологии, то, к сожалению, ее истории уделялось слишком мало внимания. Даже по истории тесно связанной с ней отрасли знаний — гидравлики — есть только один серьезный труд: «История гидравлики» Хантера Роуза и Саймона Инса. Неудивительно, что гидрологи очень мало знают о прошлом своей науки и в литературе часто допускают ошибочные суждения на этот счет.

С 1964 г. я занимаюсь изучением гидрологических работ древних авторов. Сначала мною руководила только любознательность, но затем я все больше и больше увлекался предметом и в конце концов написал несколько статей по истории гидрологии, которые были опубликованы, в частности, в периодических изданиях Лондонского Королевского общества, Американского общества гражданских инженеров, Международной ассоциации научной гидрологии и Общества истории техники. Не без удивления я убедился в том, что и гидрологи, и исследователи, занимающиеся историей науки и техники, встретили мои работы с большим интересом. Это обстоятельство и просьбы коллег из многих стран мира побудили меня облечь мои статьи в форму книги.

Мне пришлось преодолеть немало трудностей. Может быть, труднее всего было найти общепризнанное определение науки гидрологии. Такого определения — увы — еще нет, но если бы даже оно существовало, то, при современной тенденции к слиянию различных отраслей знания, неизбежно страдало бы расплывчатостью.* Например, где кончается гидрология и начинаются две тесно связанные с ней научные дисциплины — гидравлика и метеорология? В предлагаемой вниманию читателя книге все, что касается методики измерения расхода воды — как инструментарий, так и расчетные формулы, — отнесено к гидрологии; остальными аспектами течения воды в открытых руслах должна заниматься, с моей точки зрения, гидравлика. На это можно с известным основанием возразить, что седиментология, изменения погоды, физика почвы и некоторые разделы океанографии также могли бы быть включены в гидрологию, но я этого не сделал, чтобы не раздувать чрезмерно книгу, и не соби-

раюсь обременять читателя аргументами в доказательство своей правоты.

Собирая материалы, я посетил множество музеев и университетских библиотек Европы и Северной Америки. В тексте я по мере возможности указывал на полученную от них помощь. Многие известные гидрологи и историки науки и техники из разных стран оказали мне ценную поддержку своими советами. Я не в состоянии выразить благодарность им всем. Не могу не указать, однако, что к моей работе проявляли постоянный интерес и оказывали содействие: профессор Станфордского университета Рэй К. Линслей; профессора Иллинойского университета Ван Те Чоу и Джордж Уайт; профессор Университетского колледжа в Корке (Ирландия) Дж. С. И. Дудж; профессор А. Волкер, Государственное водное управление, Гаага (Голландия); сэр Гарольд Хартли, Центральное управление электроснабжения, Лондон; профессор Государственного университета штата Огайо Орель ла Рок; профессор Ближневосточного технического университета Гюнтер Гарбрехт, Анкара (Турция); профессора Стратклайдского университета в Глазго ныне покойный Уильям Фрззер и Д. И. Х. Барр. Более всего я обязан Артуру А. Франзье, бывшему заведующему отделом полевого оборудования Геологической службы США, ибо без его помощи эта книга никогда не была бы написана. Наконец, я хочу поблагодарить сотрудников Северо-Голландского книжного издательства, особенно господина А. Т. Г. ван дер Лей, за их неизменно внимательное отношение к моей книге.

Введение

Где и когда зародилась наука гидрология? Ответить на этот вопрос трудно, ибо современная гидрология уходит своими корнями в глубокую древность. С первых своих шагов по земле человек понимал, что вода — необходимое условие жизни. Неудивительно, что следы древнейших цивилизаций обнаружены на берегах рек: Тигра и Евфрата в Месопотамии, Нила в Египте, Инда в Индии, Хуанхэ (Желтой реки) в Китае. Постепенно люди научились создавать системы водоснабжения, возводить плотины и дамбы, регулировать русла рек, прокладывать ирригационные и осушительные каналы. Остатки этих сооружений свидетельствуют о том, что человек уже очень давно имел некоторые, пусть не совсем научные, знания о воде, о возможностях, которые она в себе таит, о бедах, которые с собой несет. Первые установленные им гидрологические закономерности были крайне примитивны, но человек был заинтересован прежде всего в том, чтобы подчинить себе природу, и только позднее, в период расцвета древнегреческой культуры, он попытался ее понять [1]. На это можно, конечно, возразить, что нельзя говорить об отрасли науки как таковой, пока она не достигнет определенного уровня развития, но кто определит и измерит этот уровень? Перефразируя слова известного историка науки Джорджа Сартона, можно сказать, что двухдюймовая *Sequoia gigantea* еще не гигантская, но все же секвойя. А разве первые математики, подметившие нечто общее между тремя пальцами и тремя ослами, не обладали абстрактным мышлением?

Около четырех тысяч лет назад процветали три крупных цивилизации: египтян в долине Нила, шумеров в Месопотамии и Хараппы — в долине Инда. О первых двух известно довольно много, о Хараппе — почти ничего, хотя влияние этой цивилизации распространялось на большую территорию, чем первых двух. От египтян и шумеров осталось множество письменных памятников, тогда как историю Хараппы можно восстановить только по археологическим находкам в самой Хараппе и Мохенджо-Даро*: письменных источников до нас дошло очень мало, и они еще не расшифрованы (следы этой цивилизации были обнаружены во время раскопок лишь в двадцатых годах нашего столетия). Недавно было высказано предположение, что Хараппа погибла в результате катастрофического паводка на Инде, вызванного тектоническими причинами [2].

Хотя китайская цивилизация возникла на берегах большой реки Хуанхэ, китайцы внесли в гидрологию значительно меньший вклад, особенно ранее VI в. до н. э. [3]. Все четыре цивилизации существовали в сходных географических условиях: они сложились на больших реках с неустойчивым водным режимом, в областях, где выпадает мало осадков и лето бывает очень жаркое.

В этой главе вкратце рассказано о древнейших гидрологических работах и гидротехнических сооружениях и приведена их хронологическая таблица.

«Царь Скорпион» и царь Мин

Может быть, к самым ранним свидетельствам древних гидрологических работ следует отнести изображение «царя Скорпиона», правителя одной из первых династий Египта (четвертое тысячелетие до н. э.), с мотыгой в руке [4]. Царь известен в литературе под таким именем потому, что перед ним художник поместил изображение скорпиона.

На голове царя — белая корона Верхнего Египта. Он, очевидно, вынимает первый ком земли на том месте, где будет выкопана оросительная канава. Эту церемонию, открывавшую собой оросительные работы, совершали в «день пробуждения реки» вплоть до XIX в.

Царь Мин (или Менес) правил около 3000 г. до н. э. В легендах он выступает как первый фараон, строитель новой столицы — Мемфиса. По сообщению историка Геродота, Мин

в 12,5 мили¹ к югу от будущего Мемфиса, у Кошейша, построил плотину на Ниле и отвел реку в канал, вырытый специально для этой цели между двумя холмами. Наибольшая высота насыпной плотины составляла около 50 футов, длина — 1470 футов. В старом плодородном русле реки и была построена столица Мемфис. Впоследствии Мин создал искусственное озеро к северо-западу от нового города и соединил его каналом с Нилом. Вся эта водная система, озеро — канал — река, была могучей преградой, защищавшей царя Мина от врагов. Новую плотину следовало тщательно охранять и поддерживать, ибо ее прорыв грозил затоплением всего Мемфиса. Когда 2500 лет спустя Геродот посетил Египет, завладевшие этой страной персы по-прежнему тщательно следили за плотиной. Египетские жрецы показали греческому историку список трехсот тридцати фараонов, правивших после Мина, но ни один из них «не совершил никаких замечательных деяний», за исключением последнего фараона по имени Мерид (он больше известен как Аменемхет III). О нем будет сказано ниже.

Плотина Садд эль-Кафара

В 1855 г. Швейнфурт обнаружил в селении Вади эль-Гарави, находящемся примерно в 18 милях к югу от Каира (Египет), остатки плотины, которую некоторые исследователи считают древнейшей в мире. По сохранившимся частям Садд эль-Кафара, или, как ее называют, «плотины язычников», видно, что она была построена в период третьей или четвертой династии, то есть между 2950 и 2750 гг. до н. э. В 1935 г. Меррей [5] произвел детальные ее обмеры и установил, что сооружение имело длину 348 футов по гребню и 265 футов в основании и возвышалось на 37 футов над самой низкой точкой русла*. Оно состояло из двух отдельных плотин бутовой кладки, шириной 78 футов в основании, поставленных на расстоянии 120 футов одна от другой в русле водотока. Пространство между плотинами было заполнено более чем 60 000 тонн гальки, взятой из русла и из соседнего ближайшего холма. Для строительства плотин было исполь-

¹ Перевод английских мер в метрические см. в Приложении. — *Прим. ред.*

зовано около 30 000 куб. ярдов бута. Верховой откос плотины был аккуратно выложен неотесанными глыбами известняка весом по 50 фунтов каждый, подымавшимися ступенями высотой в 11 дюймов (рис. 1). По-видимому, строители торопились и не успели отделать низовой откос плотины с таким же тщанием.

Обращают на себя внимание две особенности этого сооружения: оно не имеет водослива (может быть, плотина строилась как временное сооружение?) и оно возводилось без применения строительного раствора. Швейнфурт полагает, что плотина была поставлена с целью обеспечить питьевой водой рабочих и тягловый скот на разработках алебаstra, расположенных двумя милями восточнее, а потому прорыв плотины вследствие отсутствия водослива скорее всего не имел катастрофических последствий. Емкость водохранилища была всего лишь 460 акрофутутов, площадь водосбора — 72 кв. мили. Если предположить, что пять



Рис. 1. Верховой откос плотины Садд эль-Кафара (2950—2750 гг. до н. э.).

тысяч лет назад климат в Египте был такой же, что и теперь (а Меррей [6] доказал, что это так), то первый же большой ливень должен был переполнить водохранилище и затопить плотину [7].

Полное отсутствие отложений наносов выше плотины указывает, очевидно, на то, что плотина была прорвана в первый же сезон паводков. Меррей пишет:

«Нельзя не посочувствовать неизвестному строителю, который так смело дерзнул совершить невозможное для его времени. Попытка его оказалась совершенно неудачной... Садд эль-Кафара не стала вехой в истории техники. Это было единичное дерзание, которое отбило у древних египтян охоту к предприятиям такого рода. Строитель плотины намного опередил свое время. Если бы он воспользовался строительным раствором и предусмотрел водослив, если бы он выбрал вади с меньшим уклоном, история ирригации в Египте могла бы сложиться совсем иначе».

Однако в царствование Сети I (1319—1304 до н. э.) египтяне построили другую плотину — на реке Нар-эль-Аси (Оронт) близ Хомса. Эта плотина из каменной наброски, высотой 20 футов, длиной около 6560 футов, до сих пор с успехом выполняет свои функции.

Великий Юй

По сообщению Мачоса [8], в 2280 г. до н. э. император Яо повелел легендарному герою Юю произвести большие гидротехнические работы, построить плотины и дамбы. Юй изучил реки и проявил истинный талант в деле их регулирования. Благодаря ему удалось мелиорировать много новых земель и «покорить воды». Заслуги его были столь велики, что после смерти императора Шана он стал императором Китая. Впоследствии он считался покровителем строителей, производивших гидротехнические, ирригационные и прочие водохозяйственные работы. Даже в начале нашего века в храмах Китая возносили молитвы за великого императора-строителя. Как указывает известный китаист Джозеф Нидхем, император Юй — личность легендарная, и никто не знает точно, когда он жил и жил ли вообще. Точно

так же нельзя назвать ни одного гидротехнического сооружения, которое относилось бы ко времени правления Юя. Тем не менее в средневековом Китае все гидротехнические работы находились под покровительством этого легендарного строителя.

Следует здесь отметить, что китайцы делили своих императоров на «хороших» и «дурных» в зависимости от того, поддерживали ли те гидротехнические сооружения или давали им разрушаться [9].

Фараон Аменемхет III

Некоторые авторы сообщают, ссылаясь на Геродота, что в период Среднего Царства (2160—1788 до н. э.) воды Нила во время его ежегодных разливов задерживали в искусственных озерах для регулирования стока [10]. Из фараонов этого периода наиболее известен Аменемхет III (Геродот называет его Меридом), правивший почти 50 лет (1850—1800 до н. э.).

Искусственное Меридово озеро (называемое сейчас Биркет-Карун) произвело большое впечатление на Геродота. По его описанию, оно имело в окружности 450 миль, что равняется длине всего морского побережья Египта. Площадь озера, имевшего вытянутую форму, составляла 656 кв. миль, вместимость — 40 миллионов акрофутов, наибольшая глубина — 50 морских сажен. Посередине озера на 300 футов над уровнем воды возвышались две пирамиды: по оценке Геродота, высота их составляла около 600 футов. Во время половодья воды Нила через канал отводились в Меридово озеро. Когда половодье заканчивалось, накопленная в озере вода возвращалась в Нил, и таким образом в следующий сезон половодья озеро снова могло принять излишки воды. Сток регулировался двумя земляными плотинами, в которых устраивали прорезы для пропуска воды в озеро только в случае исключительно высокого половодья. Если отверстия в плотинах прокапывали при среднем или низком половодье, то уровень Нила в Нижнем Египте существенно понижался и это неизбежно вызывало неурожай. Отверстия затем заделывались ценой больших усилий и затрат. В этих работах участвовало столько людей, что это поражало даже строителей пирамид.

Геродот пишет также, что местные жители ему рассказывали, будто озеро имеет подземный выход в залив Большой Сырт. Эти сведения подтверждает другой греческий историк, Диодор Сицилийский, посетивший Египет в I в. до н. э. Гидротехнические работы египтян поразили его. По его словам, никто поистине не может достойно восхвалить царскую мудрость, приносящую благоденствие всем жителям Египта». Диодор пишет:

«Ибо как Нил, не одинаковым образом умножаясь, разливается, и от умеренности оного плодородие земли выросло, то царь для вмещения вод его выкопал озеро, дабы он ни безмерным наводнением своим озер и болот не делал, ни меньше потребного разливался, недостатком воды плодам не препятствовал. Чего ради он провел канал из реки в то озеро длиною на 80 стадий, а шириною на... 300 футов, посредством которого иногда приемля, а иногда не допуская реку, потребное количество воды доставлял земледельцам, то отпирая, то запирая оной с немалою осторожностью и иждивением великим. Потому что кто хотел отворить и затворить плотину сего здания, тому надо было употребить на то не меньше 50 талантов. Сие озеро, служащее к употреблению египтян, до настоящего времени осталось, которое по имени своего изобретателя Меридой называется и до ныне».¹

Геродот ошибался, принимая Файюмский оазис (расположенный в пятидесяти к юго-западу от Каира) за котловину искусственного Меридова озера. Файюм представляет собой естественную впадину, некогда орошавшуюся рукавом Нила, но еще до неолита отделившуюся от его долины. В пониженной части впадины всегда находилось естественное озеро*, окруженное заболоченными землями (рис. 2). Строители пирамид, фараоны третьей и четвертой династий (2600—2450 гг. до н. э.) первыми пытались осушить эти земли и сделать их пригодными для земледелия. Работы эти продолжались несколько веков, завершил их Аменемхет III. Он восстановил старый рукав Нила, достигавший когда-то Файюма. Этот рукав известен под названием Бахр Юсуф, или «Рукав Иосифа».

Геродот, очевидно, сильно преувеличивал окружность озера, ибо вряд ли она была больше 110 миль. Но самой серьезной ошибкой историка было его утверждение, будто египтяне использовали озеро как водохранилище для регулирования разливов Нила. А ведь это утверждение повторяется во многих книгах! Конечно, древние египтяне использовали воды половодья для орошения Файюма, но вода никак не могла стекать обратно

¹ Перевод дается по изданию «Диодора Сицилийского историческая библиотека», СПб, 1774, стр. 85.— *Прим. перев.*

в Нил: это невозможно из-за рельефа местности. Исследования последнего времени убедительно доказали, что в историческое время на этой территории не было озера с высоким уровнем воды. Однако при Диодоре (30 г. до н. э.) и Страбоне (20 г. до н. э.) в Иллахуне находилось сооружение, возвышавшееся на 92 фута над уровнем моря. С его помощью воду можно было направлять во впадину или по пятидесятимильному каналу возвращать обратно в Нил. Многие предполагают, что это были шлюзы, но это маловероятно. Диодор пишет об этом сооружении как об искусном и дорогостоящем устройстве, Страбон — как об

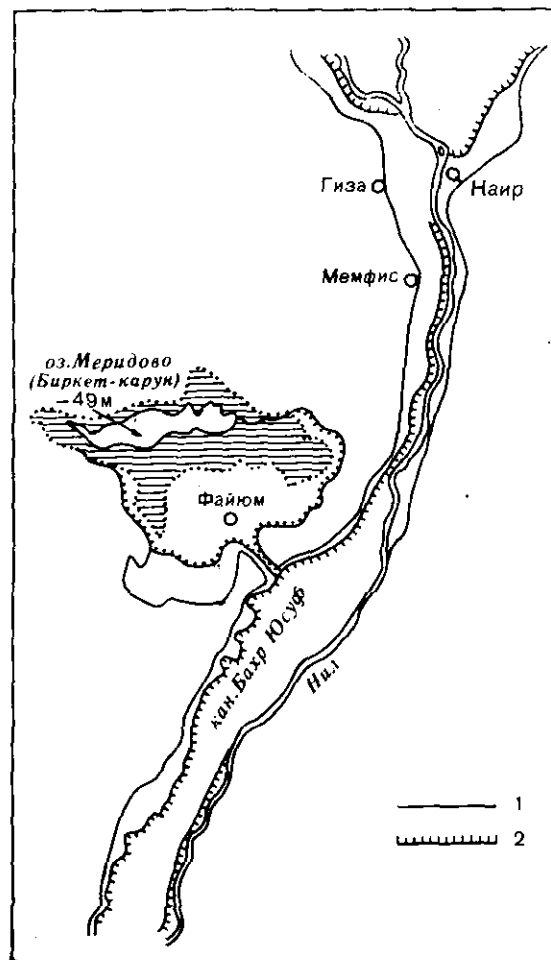


Рис. 2. Файюмская впадина в долине Нила.

1 — граница пустыни, 2 — каналы.

«искусственном препятствии». Диодор сообщает также, что стоимость работ, связанных с открытием или закрытием этого сооружения, составляла не менее 50 талантов (28 000 долларов). Примирить эти три сообщения можно только в том случае, если допустить, что существовала какая-то система временных плотин. По-видимому, так оно на самом деле и было.

Ниломеры и регулирование паводков

Праздник ежегодного разлива Нила был самым важным в египетском календаре. Когда лето вступало в свои права и уровень Нила начинал постепенно повышаться, египтяне с нетерпением ожидали «вафы», большого праздника с пиршествами. В этот день разрешалось открывать дамбы, чтобы животворная вода затопляла поля и приносила людям надежду на богатый урожай. Уровень Нила наблюдали и отмечали в нескольких местах, в частности в районе второго порога в Семне. Такие отметки, относящиеся к 3500—3000 гг. до н. э., были обнаружены на фрагментах древнего памятника, хранящегося ныне в Палермском музее (Сицилия) (рис. 3). Ниломеры, как явствует из их названия, применялись для измерения уровня воды Нила. Сейчас расшифрованы и сопоставлены отметки и надписи на нескольких ниломерах. В 1895 году Легрэн обнаружил на стенах большого храма в Карнаке сорок отметок высоких вод Нила, относящихся примерно к периоду около 800 г. до н. э. Средняя их высота составляет 74,25 м абс. (243,6 фута), в то время как в конце XIX в. н. э. она составляла 76,93 м абс., то есть за 2800 лет русло реки повысилось на 2,68 м. Джервис [12] вычислил, что в период с 200 до 1800 г. н. э. поверхность дельты Нила за каждые сто лет повышалась на 5,2 дюйма.

Применялись ниломеры трех видов. Во-первых, уровень воды отмечался непосредственно на прибрежных утесах. Во-вторых, для этой цели использовались ступени лестниц, ведущих к реке. В-третьих, воды Нила отводились по специально устроенному каналу в особый водоем или колодец. Уровень воды отмечали или на стенах водоема, или на расположенной посреди него колонне. Это был самый точный способ измерения уровня Нила.

Наиболее длительный непрерывный ряд наблюдений получен по ниломерам, находившимся поблизости от Каира. Из них

самый известный — ниломер на острове Рода (Рауда). Когда в 641 г. н. э. арабы завоевали Египет, они обнаружили несколько действующих «Микьяс-ан-Ниль» (измерителей Нила). Сами они, насколько известно, установили первый свой ниломер на южной оконечности острова Рода в 715 г. В 861 г. он был переделан. Какие ниломеры существовали близ Каира до 715 г. и по каким из них определялись уровни Нила, мы фактически не знаем. Бесспорно, однако, что большинство сохранившихся ниломеров ведут свое происхождение от персидского, птоломеевского и римского периодов [13].

С родским ниломером первыми из европейцев ознакомились Ле Пер и Марсель (1798—1800) во время похода Наполеона



Рис. 3. Отметки уровней воды Нила, относящиеся к 3500—3000 гг. до н. э., обнаруженные на фрагментах древнеегипетского памятника (Палермский музей, Сицилия).

в Египет. Этот ниломер представлял собой квадратный водоем, соединенный с Нилом тремя водоводами. В центре водоема стояла восьмиугольная беломраморная колонна с делениями, на его дно вели ступени (рис. 4). Имеются данные о максимальных и минимальных уровнях Нила на острове Рода за период с 641 по 1890 г. н. э. Данные, полученные после постройки Асуанской плотины в 1890 г., с трудом увязываются с предыдущими.

Вся жизнь египтян зависела от регулярных разливов Нила, но совсем иное дело катастрофические наводнения, когда река из силы созидательной превращалась в силу разрушительную.

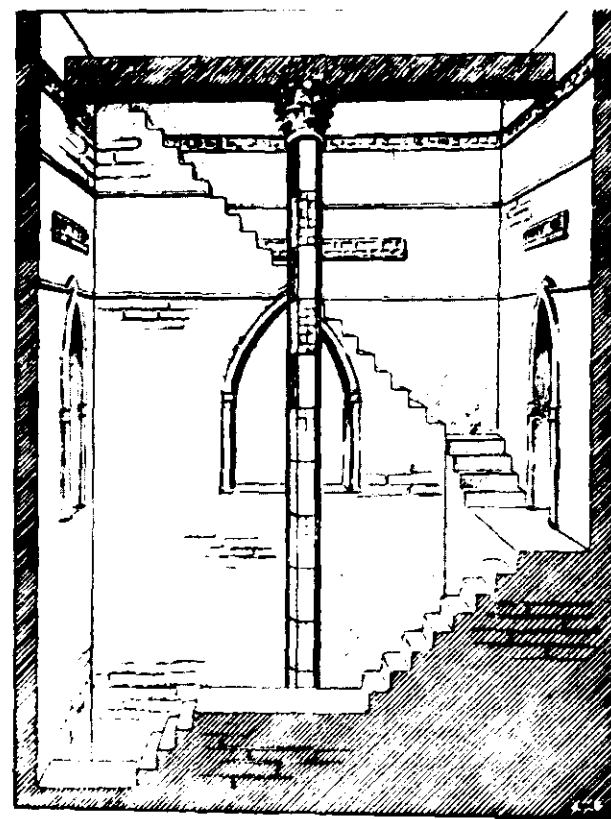


Рис. 4. Ниломер на острове Рода. Реконструкция по описанию 1798 г.

Известно, что одно из таких бедствий произошло в 638 г. до н. э. и превратило всю долину в «изначальный океан и безжизненное пространство». В конце концов египтяне, неоднократно страдавшие от больших наводнений, создали сигнальную систему, предупреждавшую о надвигающемся бедствии. Система эта охватывала различные храмы и их ниломеры. До нас почти не дошли доказательства «технического сотрудничества» между храмами, но Диодор сообщает, что по ниломеру Мемфиса население оповещалось о приближении катастрофы.

Перед самым сезоном наводнений за уровнем Нила велись тщательные наблюдения, причем полученные результаты сопоставлялись с прошлогодними отметками. С измерительных пунктов в верховьях реки слали в столицу одного за другим лучших гребцов-гонцов с сообщениями о том, на каком уровне стоит в реке вода. Гребцы, достигшие в своем деле совершенства и гребшие к тому же по течению, опережали пик паводка и заблаговременно предупреждали жителей города о грозящем им бедствии.

Диодор сообщает:

«В рассуждении страха от наводнения бываемого сделана от царей в Мемфисе некоторая высокая для примечания Нила башня, откуда определенные к тому, узнав точно оного меру, рассылая людей во все стороны, дают знать по городам жителям письменно, на сколько локтей и дюймов вода в реке поднялась и когда убывать стала. Таким образом народ, узнав об обратном возвращении реки в берега свои, лишается беспокойства и страха... Наблюдение сие через многие века тщательно от египтян вносимо было в записные книги».

Наблюдения за половодьем Нила не прекращались даже при серьезных религиозных и политических волнениях. По мнению Энгрина [14], существовала связь между наблюдениями за уровнем Нила и культом бога Сераписа. В подтверждение этой гипотезы он цитирует сообщение Руфина о ниломере в храме Сераписа в Александрии:

«По обычаю, принятому в Египте, об измерениях воды в Ниле сообщали в храм Сераписа, то есть, как и положено, сообщали тому, кто заставлял воду в реке подниматься и выходить из берегов».

Различные теории, объясняющие, откуда берет начало Нил и почему уровень в нем повышается, будут подробно рассмотрены в главе 6.

Вавилонская табличка из Ура

Древняя вавилонская клинописная табличка, хранящаяся ныне в Британском музее, содержит на обеих сторонах множество задач с решениями. На одной стороне помещены 16 задач, касающихся плотин, стен, колодцев, водяных часов, земляных работ. Неизвестно, откуда именно происходит эта вавилонская табличка периода Урской династии, но датируется она примерно XVIII веком до н. э. Одно из зданий четвертой задачи (иллюстрированное чертежом) предлагает построить плотину с сечением в форме равносложной трапеции. Основание b , угол откоса α , площадь сечения A даны, а ширину плотины по верху, a , надо вычислить. В задаче a выводится из уравнения

$$a^2 = b^2 - 4xA.$$

В другой задаче, помещенной на этой же табличке, a известно, b узнается из того же уравнения.

Кодекс Хаммураби

Около 1760 г. до н. э. Месопотамию завоевал царь Хаммураби, называвший себя «покорным и богобоязненным правителем». Он был шестым и наиболее могущественным царем первой (Аморитской) вавилонской династии. Хаммураби понимал, что разветвленная сеть каналов необходима для ирригации полей, а также для нужд транспорта и коммуникаций. Шумеры населяли территорию между Тигром и Евфратом, а поведение этих рек, в отличие от египетского Нила, невозможно было предвидеть заранее. Наводнение было постоянной опасностью, и если оно случалось одновременно на обеих реках, то приносило с собой неисчислимые бедствия. Недаром рассказу о Ноевом ковчеге положил начало легендарный великий потоп в Шумере. Неудивительно, что уже при Хаммураби шумеры умели хорошо строить противоположные сооружения типа земляных насыпей или дамб.

Естественно, что тогдашние правители уделяли гидротехническим работам не меньшее внимание, чем завоевательным походам. Сартон [15] утверждает, что до сих пор с самолета можно

различить следы построенных ими каналов. Из дошедших до нас документов явствует, что царь Хаммураби часто приказывал своим наместникам в провинциях прорывать каналы и систематически их чистить.

В послании некоему Сид-Идиннаму царь указывает, что канал построен неправильно и из-за этого суда не могут дойти до Эреха, а другой канал у берегов Друру нуждается в ремонте. Он повелел в течение трех дней после получения послания устранить неисправности, используя для этого всех наличных людей. Таким образом, постепенно политическое объединение страны сопровождалось установлением сильного централизованного контроля над водой.

Знаменитый кодекс Хаммураби представляет собой наиболее полный свод законов шумеров и вавилонян. Его нашел в 1901 г. в Сузах французский ассиролог Жан Винсент Шейл. Сейчас кодекс хранится в Лувре. Тщательно разработанные законы, касавшиеся ирригационных сооружений, первоначально имели своей целью, очевидно, предотвратить небрежность, которая могла привести к затоплению земель. Это видно из следующих мест:

«Раздел 53. Если кто-нибудь поленится укрепить свою плотину, и вследствие того, что плотина не была укреплена им, в ней произойдет прорыв и водою будет затоплен полевой участок, то тот, в плотине которого произошел прорыв, должен возместить уничтоженный им хлеб.

Раздел 55. Если кто-нибудь, пустив воду по канаве для орошения, по небрежности допустит, что водою будет затоплено поле соседа, то он обязан возместить зерном убытки, причиненные ему.

Раздел 56. Если кто-нибудь сбросит воду и водою будет затоплено обработанное поле его соседа, то он должен отмерить ему десять „гур“ хлеба за каждый „ган“ затопленной земли».

Других документов не осталось, но и этот кодекс дает основание утверждать, что около четырех тысяч лет назад производились важные гидротехнические работы и что в современных законах о водопользовании можно проследить влияние кодекса Хаммураби.

Синноры Палестины

Синноры, или туннели для воды, были известны в Палестине еще ранее 1200 г. до н. э. В Палестине и Сирии города строили обычно на вершинах холмов, у подножия которых протекали

источники, где брали воду горожане. Поэтому в периоды войн города были легко уязвимы, ибо неприятелю ничего не стоило отрезать их от воды.

Во избежание этого горожане строили подземные туннели с потайным выходом к источнику. Другой конец туннеля находился в пределах города. К туннелю вела шахта со ступеньками. Позднее по дну туннеля стали прокладывать водовод от источника к основанию шахты.

На западной окраине Иерусалима сохранился синнор, построенный около 700 г. до н. э. («Силоамская Купель»). Его туннель, длиной 1750 футов, проходил под городской стеной и подавал в город воду из источника Геон.

Находки в Ниппуре

Около 1300 г. до н. э. город Ниппур в Месопотамии был одним из наиболее крупных религиозных центров шумеров. Возле него американские археологи нашли недавно тысячи глиняных табличек. Большинство из них не обожжено, а потому плохо сохранилось и не поддается дешифровке, но на некоторых можно различить карты, сделанные так точно, что они даже помогают археологам при раскопках.

На рис. 5 помещена карта полей и каналов в Ниппуре, а на рис. 6 — перевод клинописных надписей на карте. Участки без надписей были общими выгонами или в момент картографирования местности меняли своих владельцев. «Канал Хамри» был, вероятно, главным каналом, в который поступала вода во время паводков.

Русла, обозначенные на карте словом «канал» или «оросительная система», очевидно, предназначались для ирригации, а словом «поток» могли обозначаться канавы для стока воды. С их помощью, очевидно, отводили воду с обработанных участков, когда уровень рек понижался. Обращает на себя внимание надпись «Заболоченный участок, принадлежащий городу Хамри», где скорее всего выращивали камыш. В стране, почти лишенной лесов, камыш использовали для любых нужд — для строительства, плетения разных изделий, изготовления мебели, топки печей... Камышовыми циновками укрепляли дамбы, которые защищали заливные земли.

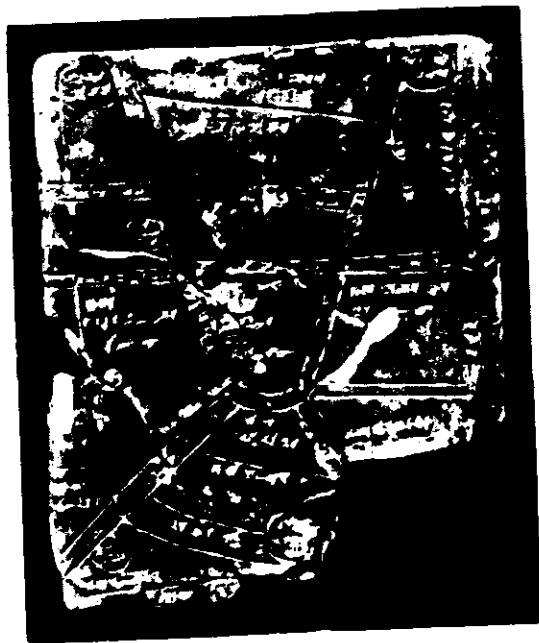


Рис. 5. Карта ирригационной системы близ Ниппура в Месопотамии (Музей Пенсильванского университета).

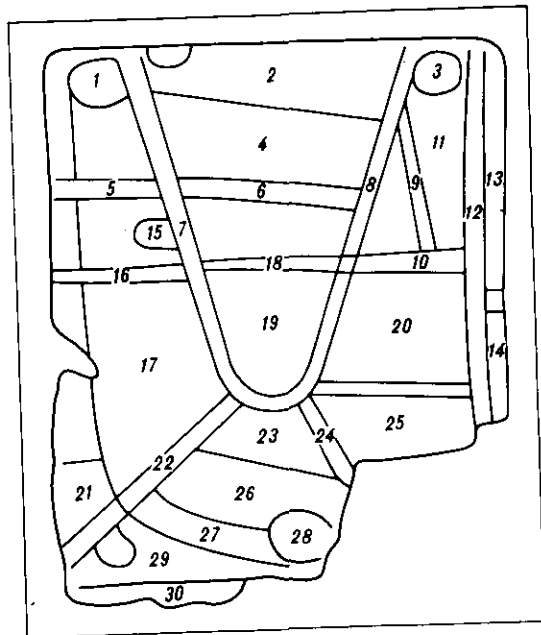


Рис. 6. Перевод клинописных надписей на рис. 5:

1 — Хамри; 2 — дом и участок Мардука; 3 — Бит-Кар-Нуску; 4 — заболоченный участок, принадлежащий городу Хамри; 5 — поток Ку-Ум; 6 — поток, дающий питьевую воду; 7 — канал Хамри; 8 — распределительный канал; 9, 10 — боковой канал; 11 — пограничный участок; 12 — оросительная система Бар-Рим-Мас-Му; 13 — участок Бит-Кар-Нуску; 14 — холм Пятидесяти Мужей; 15 — равнинный канал; 16 — равнинный участок жреца Бару; 17 — поток; 18 — участок между каналами, дворцовые владения; 19 — участок Ку Ри-Ли жреца Бару; 20 — участок Канту; 21 — оросительная система Бел-Суну; 22 — участок Мут-Би-Лу; 23 — оросительная система; 24 — участок городских ворот; 25 — участок Лу-Ду-У; 26 — участок нишейная земля; 27 — Ба-Лу; 28 — дом и участок Катну; 29 — участок Хар-Ра.

Водомеры

Водомер примитивного устройства применялся в северо-африканском оазисе Гадамес более трех тысяч лет назад и применяется без изменений до сих пор [16, 17]. В оазисе есть небольшой источник Аин-эль-Фрас («Кобылий источник»), который, по преданию, обнаружила лошадь арабского завоевателя. Источник дает около 180 куб. м воды в час. Она поступает в распределительный бассейн, а из него попадает в главный канал и два боковых. Для равномерного распределения воды между возделанными участками земли существует особая система.

В колодец на базарной площади опускают на веревке мерный сосуд — горшок с отверстием в дне — и зачерпывают им воду. После этого его поднимают и вода стекает через отверстие обратно в колодец. Горшок опорожняется через три минуты, и все начинается сызнова. Этот трехминутный цикл составляет основу распределения воды. Раздатчик воды определяет, на какой промежуток времени, непрерывно измеряемый наполнением и опорожнением горшка, тот или иной земледелец имеет право отвести воду из ближайшей ирригационной канавы на свой участок. Когда предоставленное ему время истекает, в ближайшую ирригационную канаву бросают небольшой пучок соломы, который вода приносит на его поле. Получив этот знак, земледелец обязан прочистить канал с тем, чтобы вода могла беспрепятственно течь на участок его соседа, и должен закрыть затворы на своем участке. Этот процесс повторяется круглые сутки изо дня в день, пока все земледельцы вдоль канала не получат воду в количестве, отмеряемом в колодце на базарной площади. Когда последний участок получит свою норму воды, весь процесс возобновляется, начиная с ближайшего к распределительному бассейну поля. Полный кругоборот длится около двенадцати дней. Это, несомненно, очень примитивный способ распределения текучей воды, но он применяется без существенных изменений до сих пор, а значит, вполне эффективен. Поразительно, что вот уже три тысячи лет у водоема непрерывно стоит человек и наблюдает за тем, чтобы вода источника распределялась по справедливости.

В Йемене на протяжении многих лет применяется водомер другого типа, основанный на диаметрально противоположном принципе. Здесь распределение воды из небольшого потока регу-

лируют «плавающие часы». Пустой медный кувшин помещают в медный сосуд большего объема, в который налита вода. Кувшин постепенно наполняется этой водой, поступающей через отверстие в его дне, и через пять минут тонет. Его немедленно поднимают на поверхность, опорожняют и снова помещают в сосуд, и так без конца. Каждому земледельцу разрешается отводить поток воды на свой участок на определенный срок, измеряемый «плавающими часами». Единицей измерения служит число наполнений сосуда за время поступления воды на 100 лубнах (примерно 2/3 акра) земли. Вода в пустыне, естественно, играет исключительно важную роль, и работа «мукассима ад-дайри» (раздатчика воды) считается ответственной и почетной.

Использование грунтовых вод

Несомненно, в древности важнейшим достижением в использовании грунтовых вод было строительство «канатов», искусственных подземных русел (акведуков), отводивших на большие расстояния воды источников или водоносных слоев.* Канаты



Рис. 7. Аэрофотоснимок одной из систем канатов в Иране. (Направление канатов, или каризов, видно по расположенным цепочками грудам земли, вынутым из колодцев.)

избавляют от ряда трудностей, связанных со строительством наземных каналов. Прежде всего, в жарком и засушливом климате испарение всегда является серьезной проблемой, и при ограниченных запасах воды передача ее на расстояние по поверхности земли связана с явным риском. Далее, в холмистой местности очень трудно придать каналу постоянный уклон. Наконец, под землей вода остается холодной и не подвергается загрязнению. На рис. 7 воспроизведен сделанный с самолета снимок системы канатов, берущей начало в каменных осыпях у подножия гор близ города Кашан в Иране.

Вопреки существующему мнению, первые канаты, вероятно, были построены не в Иране, а в Армении. При завоевании Урарту (на территории нынешней Армении) ассирийский царь Саргон II, царствовавший с 721 по 705 г. до н. э., разрушил ирригационную систему города Улху. Об этом сооружении, созданном Урсой, побежденным царем этого города, Саргон II отозвался так:

«Повинуясь вдохновению, Урса, их царь и господин, открыл воде выходы. Он прорыл главный водовод, по которому потекла вода... в таком изобилии, как в Евфрате. Он вывел из глубины земли бесчисленные потоки на поверхность... И он дал воду полям».

Строительством этой замечательной системы, «величайшего гидротехнического сооружения древних», по словам Толмена, руководил строитель по имени Муканни. Он начал с того, что в поисках воды выкопал несколько пробных колодцев. Обнаружив мощный водоносный слой, он вырыл основной колодец, а на некотором расстоянии от него — второй, примерно такой же глубины, и соединил их туннелем. По такому принципу была построена вся система. Направление и глубина туннеля определялись при помощи примитивных отвесов и поплавков. На рис. 8 показана типичная схема каната. В сечении канат имел форму яйца.

Персы избегали пробивать скальные породы, поэтому канаты делали многочисленные изгибы и повороты. Холмы также приходилось огибать. Работать в туннеле мог одновременно только один человек. Вынутый грунт подымали вверх в мешке из бараньей шкуры через вертикальную вентиляционную шахту.

Обратно в мешке опускали облицовочный материал, если в том была нужда (это зависело от характера грунта). Работа велась при отраженном свете, в очень тяжелых условиях, и, наверное, несчастные случаи, даже со смертельным исходом, были обычным явлением. О строительстве канатов подробно рассказывает Вульф [18].

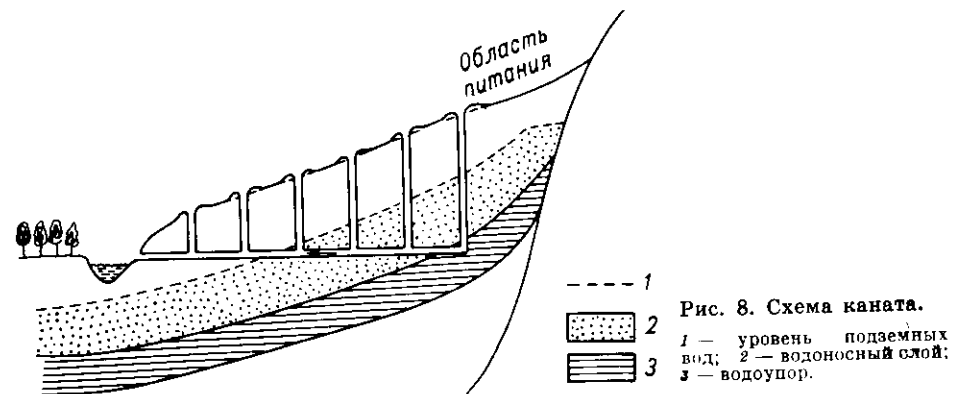
Одна из древних систем канатов находится к югу от города Дизфуль в Иране. Она состоит из трех парных туннелей, наполняющихся водой в пластах гравия поблизости от реки Аби-Диз, милях в семи к северу от Дизфуля. Два парных каната подают воду на окрестные поля, а третья пара снабжает водой город. Канаты проложены на такой глубине, что некоторые городские постройки уходят под землю шестью этажами, чтобы пользоваться водой.

Обычай строить подобные галереи для сбора грунтовых вод из осадочных пород или аллювиальных отложений быстро распространился из Армении и достиг даже северной Индии.

Канаты действовали по принципу самотека. В пустынных местностях длина канатов в среднем достигала 25—28 миль. Они обладали небольшим уклоном — от 1 до 3%, и кое-где достигали глубины почти 400 футов. При тогдашнем состоянии науки это было немаловажным достижением.

Марибская плотина

Марибская плотина, построенная, вероятно, между 1000 и 700 гг. до н. э., считалась одним из чудес древнего мира. Она перегораживала Вади-Дхана приблизительно в 40 милях от древнего города Мариб (ныне в Йемене) и была известна мусульманам под названием Судд-эль-Арим. На реке Денне, довольно большом водотоке на восточном склоне высокого горного



хребта в Йемене, было еще несколько плотин [10], но все они уступали по величине Марибской. Это была земляная плотина высотой 33 и длиной 1900 футов. По обеим краям ее имелись большие водосбросы, тщательно выложенные камнем. Как и злполучная плотина Садд-эль-Кафара, Мариб строилась без применения строительного раствора, если не считать верхнего покрытия, добавленного, вероятно, для того, чтобы предохранить плотину от дождевой воды.

Первая брешь появилась в плотине в V в. н. э., а окончательно она была разрушена во второй половине следующего столетия. Но в отличие от плотин Садд-эль-Кафара ее разрушение имело пагубные последствия для земледелия.

Работы Сеннахериба

Очерк по истории древних гидротехнических сооружений не будет полным, если не упомянуть о Сеннахерибе (705—681 до н. э.). Жестокий ассирийский царь, желая затопить побежденный и сожженный им город — Вавилон, в 689 г. до н. э. построил плотину на Евфрате. Сеннахериб был блестящий стратег и хороший строитель. В числе его заслуг — изобретение водонапорных машин и введение хлопка в Ассирии. Главный его вклад в гидрологию — успешное использование водных ресурсов страны.

Столицей Ассирии была Ниневия, стоявшая на берегах Тигра, но мутная вода из этой реки не нравилась царю. Ему хотелось, чтобы Ниневия и его дворец в Хорсабаде получали чистую воду. Эта задача была разрешена в три приема. Сначала царь построил плотину на реке Хоср близ Кисира (703 г. до н. э.) и канал длиной 10 миль для орошения садов в восемнадцати селениях на равнине к западу от Ниневии (рис. 9).

Затем, в 694 г. до н. э., русла восемнадцати рек были направлены так, что они стали нести в город воды с гор Джебель-Вашиках. Две плотины, построенные из квадратных каменных плит, направляли этот водный поток, заполнявший реку Хоср, в столицу. В завершение работ в 690 г. до н. э. были отведены воды реки Атруц-Гомел. На этой реке у Бавианского ущелья построил плотину, чтобы создать здесь водохранилище. Затем Сеннахериб построил великолепный канал (вошедший в историю

под его именем), соединивший водохранилище с городом. Канал следовал естественному пути вдоль подножия гор и имел уклон примерно 1:80. Пятнадцать месяцев строился этот канал длиной 35 миль, выложенный плитами известняка. С помощью арочных акведуков он пересекал несколько ущелий и долин. Один из акведуков, Джерванский, достигал в длину около 1000 футов, в ширину — 39, его боковые стенки толщиной 8 футов имели в высоту 5 футов. Акведук покоился на четырнадцати опорах, его ложе составляли три слоя известняковых плит. Надпись на сооружении гласила: «Через глубокие овраги я заставил перешагнуть мост из белых каменных плит, и воды я заставил пройти по нему» [17]. На скале около замкового камня высечена надпись: «Царь молился великим богам, и они вняли его молитвам; они направили дело рук его. Благодаря вратам и туннелю обильно потекла вода... По сердечному соизволению богов, он отвел воду и стал управлять ее силой».

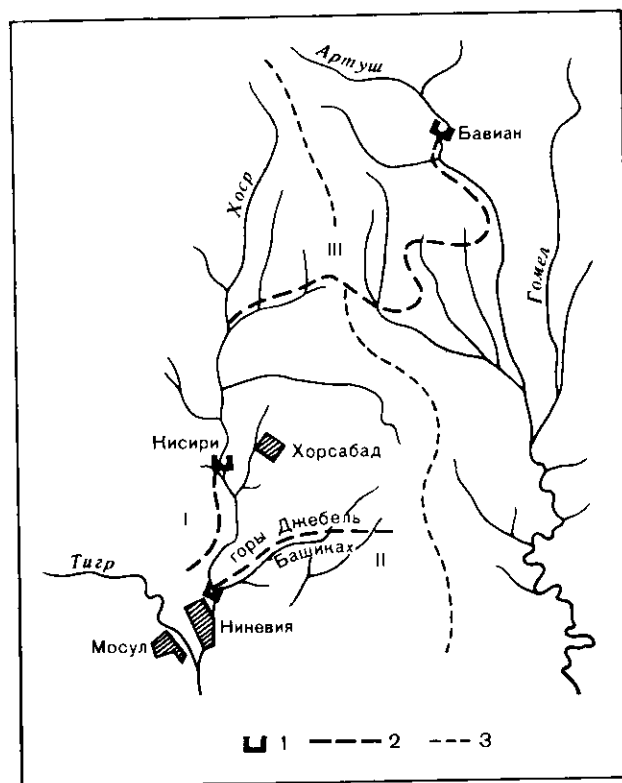


Рис. 9. Использование водных ресурсов при Сеннахерибе.

I, II, III — первая, вторая и третья очереди работ; 1 — плотина, 2 — канал; 3 — водораздел.

Заклчение

В этой главе рассказано всего лишь о нескольких наиболее замечательных гидротехнических сооружениях древности. Конечно, они составляли лишь ничтожную часть борьбы человека на пути к цивилизации. Бесчисленные массы безымянных тружеников успешно выполняли грандиозные, даже по нашим масштабам, работы. Были мелиорированы нездоровые болотистые заливные земли по берегам Нила, в междуречье Тигра и Евфрата, вдоль Инда и Хуанхэ. Людям приходилось строить здесь дамбы, рыть для защиты от наводнений многочисленные водоемы и каналы, создавать системы ирригации и осушения. И они так в этом преуспели, что распространилось предание, будто Эдемский сад находился в междуречье Тигра и Евфрата. Гидрологи и гидротехники играли важную роль в успешном проектировании, строительстве и эксплуатации этих сооружений, чье значение для развития древних цивилизаций было столь велико, что эти цивилизации можно без преувеличения назвать «гидротехническими».

Таблица 1. Хронологическая сводка гидрологических и гидротехнических работ, выполненных ранее 600 г. до н. э.¹

Год до н. э.	События
3200	Первое свидетельство о работах по использованию вод во время правления царя Скорпиона
3000	Царь Мин запрудил Нил и отвел его воды
3000	Применение ниломеров для измерения уровня Нила
2850	Прорыв плотины Садд эль-Кафара
2750	Начало создания ирригационных и осушительных систем в долине Инда
2200	Различные гидротехнические сооружения «Великого Юя» в Китае
2200	Обеспечена подача родниковой воды в Кносский дворец (о. Крит)
	Строительство плотин в Махали и Лакоре в Персии

¹ Некоторые из приведенных здесь хронологических данных — приближительные. — Прим. авт.

1950	Соединение судоходным каналом реки Нила с Красным морем в правление Сесостриса I
1900	Строительство синнора в Гезире (Палестина)
1850	Озеро Меридово и другие работы фараона Аменемхета III
1800	Устроены ниломеры у второго порога в Семне
1750	Кодекс вавилонского царя Хаммураби о водопользовании
1700	Сооружение колодца Иосифа около Каира, глубиной 325 футов
1500	Соединение синнором двух источников в городе Тель-Таанек в Палестине
Год неиз- вестен	Строительство плотины Мардук на Тигре близ Самарры, разрушенной в 1256 г. н. э.
1300	Создание ирригационных и оросительных систем Ниппура. Строительство плотины Катинах на реке Оронт в Сирии в царствование Сети I или Рамсеса II
1050	Применение водомеров в оазисе Гадамес в Северной Африке
750	Сооружение плотины Мариб и других на реке Вади-Дхана в Йемене
714	Разрушение царем Саргоном II системы канатов Улху (Армения). Постепенное распространение канатов на территории Персии, Египта и Индии
690	Строительство канала Сеннахериба
600	Сооружение плотин на реке Мургаб в Персии (разрушены в 1258 г. н. э.)

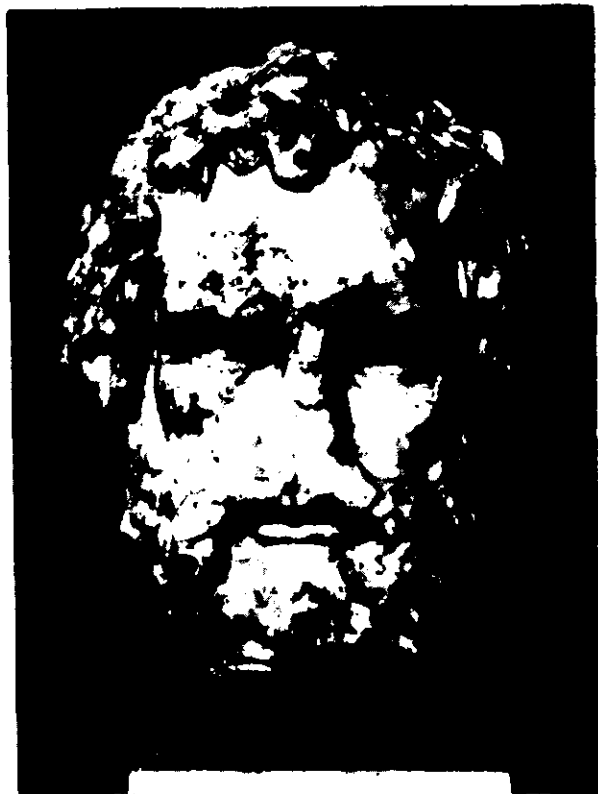
Введение Доэллинские цивилизации, о которых шла речь в предыдущей главе, развивались в основном в бассейнах трех больших речных систем — Нила, Тигра — Евфрата и Инда. Эллинская цивилизация сложилась около 600 г. до н. э., то есть в то время, когда в Малой Азии возникла Ионийская школа философии. Наука эллинов, конечно, была многим обязана более древним культурам, особенно египетской цивилизации, но именно в Греции впервые за всю историю человечества у людей появилось стремление к знанию ради него самого.

Если греческие философы не смогли открыть основные гидрологические закономерности, хотя наблюдали отдельные их проявления, то не из-за пренебрежительного отношения к фактам, а лишь из-за недостатка последних. К тому же, даже хорошо известные им факты они рассматривали не в их совокупности, а, следуя учению Аристотеля, каждый в отдельности.

Неудивительно поэтому, что почти по каждому вопросу выдвигалось множество противоречивых теорий. Как заметил Рапэн, «Фалес утверждал, что в основе всех явлений находится вода, Гераклит отдавал предпочтение огню, Анаксимен — воздуху, Пифагор — числам, Демокрит — атомам, Музеус — единству, Парменид — бесконечности, Протагор считал, что все видимое нами — реально. Аристипп отрицал реальность окружающего мира, утверждая, что он существует лишь в нашем воображении. Хрисипп заявлял, что чувства человека всегда обманчивы; Лукреций, напротив, учил, что они истинны», и т. д.

У истоков Ионийской школы философии стояла историческая, хотя и полулегендарная, личность выдающегося философа Фалеса Милетского (624?—548? до н. э.). Известно о нем очень мало. То немногое из его трудов, что дошло до нас, сохранилось в сочинениях Аристотеля и Геродота. Даже во времена Аристотеля, в IV в. до н. э., Фалес уже становился легендой. Дж. Сартон считает, что Фалес был своего рода античным Бенджамином Франклином. Оба они обладали пытливым умом, стремлением познать новое, оба применяли свои познания для решения практических проблем. Франклин ездил в Англию, а Фалес — в Египет и, подобно Франклину, вынес из поездки яркие впечатления.

Фалес считается одним из семи великих мудрецов древности. Интересно, что, по словам Деметрия Фалерского, Фалесу «при-



Фалес Милетский (Музей скульптуры Карлсберг в Копенгагене).

своили звание мудреца», как если бы речь шла о присвоении ученой степени доктора наук. Причем Фалес получил это звание и прославился не потому, что был первым греческим астрономом или первым математиком, а потому, что умел применять свои знания на практике.

Для истории гидрологии большой интерес представляют два высказывания Фалеса, переданные Аристотелем:

1. Земля плавает на воде.

2. Вода есть вещество изначальное, а следовательно, составляет материальную основу всех вещей.

Первое утверждение было обычным для космогонии Египта и Вавилона. Египетские жрецы считали, что Земля была создана из первоначальных вод, принадлежавших богу Нуну, и что эти воды по-прежнему находятся под ней. А вавилонская легенда того времени гласила: «Вся земля была некогда морем... Мардук покрыл его тростниковой циновкой, сотворил земной прах и положил его на циновку». Мардук был у вавилонян легендарным творцом Вселенной, и Фалес, много путешествовавший, наверное, знал эту легенду, но, излагая свою теорию, ни словом не обмолвился о Мардуке. На Фалеса мог повлиять и Гомер, который считал, что за морем вокруг земли простирается огромное водное пространство, не имеющее ни начала, ни конца. А может, Фалес старался развить теории египтян и вавилонян и таким образом пришел к выводу, что земля, подобно плоскому диску, плавает на воде.

Второе утверждение Фалеса, будто вода — основное, или изначальное, вещество, на первый взгляд кажется абсурдным, но на самом деле это не так. Ему никак нельзя отказать в логичности. Будучи в Египте, Фалес, естественно, видел Нил — эту легендарную реку. В то время верили, что Египет создан Нилом. Если Фалес наблюдал за тем, как река создает свою дельту, он мог утвердиться во мнении, что земля действительно сотворена водой. Жизнь египтян целиком и полностью зависела от регулярных разливов Нила, но, насколько нам известно, они не смогли дать им разумное объяснение. Его предложили в конце концов греки, но для египтян поведение их реки так и осталось одной из многочисленных тайн окружающей их природы.

Вода — единственная жидкость, которая была хорошо известна древним в трех физических состояниях: жидком, твердом и парообразном. Она легко переходит из одного состояния в дру-

гое и обычно во всех трех видах наличествует в природе. Многие древние философы считали, что, раз она падает сверху в виде дождя, града или росы, то каким-то чудодейственным образом превращается в землю. Они были далеки от мысли, что происхождение ручьев и рек связано с выпадением осадков (об этой теории будет говориться ниже).

Широко было распространено и другое заблуждение: будто влага, подымающаяся из морей и рек в процессе испарения, поглощается огнем небесных тел и поддерживает их «горение». Вероятно, Фалес предположил, что вода — изначальный элемент, прежде всего потому, что без нее жизнь невозможна. В этом он убеждался на каждом шагу во время пребывания в засушливом Египте.

Обратимся к Аристотелю, чтобы он помог нам понять рассуждения Фалеса о воде как первичной материи. Аристотель указал три положения, легшие в основу философии Фалеса: а) все живое употребляет пищу, содержащую влагу; б) из влаги возникает тепло и поддерживается ею; в) семена всех живых существ находятся во влажном состоянии.

Попытки отыскать первичную субстанцию продолжались еще долго и после Фалеса. Гераклит считал ею огонь, а восточные жрецы-маги добавили к огню и воду. Эврипид считал первичной материей воздух и землю. По его мнению, человечество и животные возникли из семян, попавших на землю с осадками, низвергшимися с неба. Когда время разрушает живые существа, они снова возвращаются туда, откуда появились, — на небо. Эмпедокл из Агригентума (490—430 до н. э.) утверждал, что существуют четыре основных элемента, или корня, — огонь, воздух, вода и земля и что все имеющиеся в мире вещества представляют собой их различные числовые сочетания. Кости, например, состоят из двух частей земли, двух частей воды и четырех частей огня. Эта теория могла сложиться под влиянием математических воззрений Пифагора.

От Анаксимандра до Ксенофана

Анаксимандр из Милета (610—545 до н. э.) был современником Фалеса и, естественно, в какой-то мере находился под его влиянием. Анаксимандр считал, что первоматерия не должна быть такой реальной субстанцией, как фалесова вода, и предложил вместо воды нечто более неосоздаемое, названное им «апейрон». Это слово означало нечто бесконечное, неопределенное, неоформленное и даже непознанное. Располагая только отрывками из сочинений Анаксимандра, современные историки науки

не могут прийти к единству относительно истинного значения слова «апейрон». Как и Фалес, Анаксимандр считал, что началом жизни людей, как и животных, была вода. Постепенное, но непрерывное испарение воды привело к тому, что на месте всепоглощающего моря возникла земля. Впоследствии Аристотель писал об этой точке зрения: «Но мудрейшие из мудрых дают [объяснение] происхождению моря. Сначала, говорят они, вся земля была покрыта влагой; по мере того, как солнце ее высушивало, часть влаги испарилась и превратилась в ветры и круговороты солнца и луны, тогда как оставшаяся часть стала морем. И, полагают они, море, высыхая, становится меньше и «в конце концов высохнет совсем».

По словам Ипполита, Анаксимандр считал выпадение осадков следствием того, что солнце вытягивает влагу из земли.

Анаксимен (около 585—525 до н. э.) утверждал, что град возникает, когда дождь замерзает на лету, а снег — когда воздух попадает внутрь дождевой капли.

Ксенофан из Колофона (около 570—470 до н. э.) считал, что «море есть источник воды и ветра. Ибо без океана (моря) не может возникнуть ни дующий с него сильный ветер, ни речной поток, ни ливневый дождь; могучий океан рождает тучи и ветры и реки». Таким образом, желая подтвердить свою точку зрения, Ксенофан прибегал к тавтологии. Тучи, дожди, источники и реки, говорил он, все происходит из моря. Не будь моря, не было бы их, но раз есть море, существуют и они! Находки раковин в высоких горах и остатков морских животных в различных районах Земли привели его к выводу, что некогда вся Земля находилась под водой. Эти наблюдения Ксенофана дают нам право считать его первым геологом и палеонтологом.

Анаксагор и Гиппон

Анаксагор из Клазомен (500—428 до н. э.), последний известный нам философ Ионийской школы, был наделен пытливым умом. Он дал почти правильное объяснение регулярных разливов Нила, о чем будет подробно говориться в главе 6. Его главные высказывания по вопросам гидрологии сводились к следующему:

«Море возникло из земной воды, из влаги, собирающейся на поверхности земли... и из рек, несущих ему свои воды».

«Существование рек зависит от дождей и от воды, собирающейся внутри земли, ибо земля внутри пустая и ее полости содержат воду. И Нил летом разливается благодаря воде, поступающей из Эфиопии, где тают снега».

Расцвет деятельности Гиппона Самосского приходится на середину V в. до н. э. По его словам, «вся вода, которую мы пьем, приходит из моря. Но, конечно, колодцы, из которых мы пьем, не глубже моря, иначе вода бы поступала не из моря, а из другого места. Но на самом деле море глубже, чем вода. А значит, вся вода, находящаяся над морем, поступает из моря».

Вклад Геродота

Геродот из Галикарнаса (484—425 до н. э.) считал все области знания своей личной прерогативой и занимался ими с большим усердием. Гидрологические явления в числе многих других вызывали у него особый интерес, и он усиленно старался найти им объяснение. Он заносил в свои записи все возможные толкования, как разумные, так и абсурдные. Так, например, он записал три наиболее распространенные в то время теории, пояснявшие, почему разливы Нила начинаются во время летнего солнцестояния. Так как все три гипотезы принадлежали грекам, Геродот заявил, что у египтян таких теорий нет. Впрочем, это не помешало Геродоту отвергнуть все эти теории, независимо от их происхождения, и выдвинуть свою собственную фантастическую гипотезу, о которой будет говориться в главе 6.

Геродот изучал Нил с особым интересом. По его словам, любой наблюдательный человек мог заметить, что Египет — дар реки. Его наносные земли были постепенно созданы отложениями ила, принесенными рекой. Если бросить лот на расстоянии одного дня плавания от берега моря, он доставит ил с глубины одиннадцати саженей. Значит, эту землю вымыла и унесла так далеко в море река! С проницательностью истого геолога, почти беспримерной в древней истории, Геродот предположил, что некогда весь Нижний Египет был покрыт морем. Подобно Красному морю, долина Нила была когда-то морским заливом, но притоким рекой ил постепенно заполнил пространство между Фивами и Мемфисом. По мере того как территория покрывалась отложениями, образовывалась дельта. Так в течение веков великая река Нил наносила ил, производя при этом

огромные изменения. Присутствие морских раковин на возвышенностях и высокая засоленность земель подтверждали его выводы.

Египтяне были поражены и пришли в ужас, узнав, что в Греции нет такой реки, как Нил, которая подвержена ежегодным разливам, и что пресную воду там дают только дожди. Они были уверены, что если боги решат оставить Грецию без дождей, несчастные эллины умрут с голоду. Эта мысль, естественно, вызвала у отца истории усмешку. По «убедительным свидетельствам» жрецов в Гелиополе, при фараоне Мериде Нил к югу от Мемфиса затоплял территорию, когда уровень воды повышался всего лишь на 8 локтей (12 футов). Во времена Геродота, 900 лет спустя, река должна была уже подняться на 16 локтей (24 фута), чтобы произошло затопление. Геродоту было ясно, что если поверхность земли будет и впредь повышаться «в том же отношении», настанет момент, когда Нил уже не сможет больше ее затоплять. А без этого, рассуждал проницательный историк, умрут с голоду скорее не эллины, а египтяне, так как в их стране почти не бывает дождей.

Чуть ли не такое же восхищение, как Нил, вызвала у Геродота река Истр (Дунай). В отличие от Нила, который затопляет свои берега с почти неправдоподобной регулярностью, в Истре сохраняется одинаковый уровень воды и зимой, и летом, хотя зимой идет снег и почти не бывает дождей, а летом река пополняется благодаря таянию снегов и дождям. Но летом притягательная сила солнца больше, испарение воды увеличивается, это уменьшает ее количество, и таким образом вода в Истре на протяжении всего года остается примерно на одном уровне. Откуда же зимой поступает в Истр вода, поддерживающая этот уровень? Об этом историк умалчивает, и бесполезно гадать, какие объяснения он мог бы дать.

Геродот проявлял интерес и к другим рекам. Он оставил подробное описание речных систем Скифии. Он заметил, что перед разливом Нила пониженные и болотистые места вблизи от его берегов заполняются просочившейся речной водой. Но историк допустил ошибку при описании общего направления течения Дуная и Нила. Он полагал, что «течение Нила подобно течению Истра», пересекающего Европу с запада на восток. Он спутал великую реку, «содержащую крокодилов», с Нигером. Впоследствии такую же ошибку допустили король Мавритании

Юба II и Плиний. Поскольку это заблуждение в том или ином виде просуществовало еще около 2200 лет, великий историк древности заслуживает снисхождения.

Представления Гиппократ о воде

Вряд ли философы Ионийской школы строили свои теории на основании подмеченных ими фактов или каких-то опытов. С присущей им самоуверенностью они объявляли первичной субстанцией всех материальных предметов во Вселенной то воду, то воздух, то атомы, то четыре элемента, как если бы весь процесс эволюции происходил перед их глазами. Платон впоследствии сказал, что эти теории были не более чем «правдоподобными сказками». Но вот в области медицины дело обстояло иначе. Гиппократ (460—400? до н. э.), отец медицины, имел собственное представление о составе воды. По его мнению, вода состояла из двух частей: одна была разреженной, легкой и светлой, вторая — плотной, мутной и темной. Солнце притягивает и заставляет подниматься только самую легкую и разреженную часть воды — это видно хотя бы из того, что после испарения воды всегда остается ее соленая часть. Воду можно выделить из всех предметов, содержащих влагу, а влага есть решительно во всем. Из всех видов воды, говорил он, дождевая вода самая легкая, разреженная, светлая и чистая.

«Будучи притянутой и поднятой, унесенной и смешанной с воздухом, она выделяет плотную и мутную свою часть, которая превращается в облака и туман, а самая легкая и разреженная ее часть остается. Под воздействием солнца она нагревается, сгущается и становится пресной, ибо все вещества, сгущаясь, становятся пресными. Пребывая в рассеянном состоянии, разреженная, она уносится вверх. Но когда ветры, дующие в противоположные стороны, заставляют воду собираться в одном месте и уплотняться, она там, где уплотнение больше всего, падает вниз. Это, очевидно, происходит, когда ветер уносит облака и, не давая им остановиться, гонит вперед, внезапно сталкивает с другими облаками, подгоняемыми ветром с противоположной стороны: тут они сначала уплотняются, а те, что не уплотняются, уносятся вверх — утолщаются, чернеют, превращаются в слитную массу и, увлекаемые своим весом, дождем падают вниз».

Гиппократ произвел опыт с целью доказать, что некоторая часть воды (наиболее разреженная и легкая) исчезает при испа-

рении. Зимой он налил в сосуд определенное количество воды и оставил его на открытом воздухе, где вода замерзла. На следующий день он поместил сосуд «в теплые условия». Лед растаял, после чего образовавшуюся воду взвесили. Оказалось, что она весит значительно меньше, чем первоначально. Отсюда Гиппократ заключил, что «при замерзании воды рассеялась и усохла самая разреженная и легкая часть, но не тяжелая и плотная, ибо это было бы невозможно». Несколькими веками ранее Анаксимен выдвинул теорию о влиянии температуры на плотность: чем горячее, тем разреженнее; чем холоднее, тем плотнее. Если бы он, подобно Гиппократу, проделал простейший опыт, то подумал бы дважды, прежде чем выдвигать столь универсальную теорию. При нагревании вода превращается в пар и увеличивается в объеме. Но что происходит с водой при замерзании? Уменьшается ли ее объем, как следовало из его теории? Если бы Анаксимен морозной ночью вынес кувшин с водой на открытый воздух, то он заметил бы, что вода не только не уменьшается в объеме, а даже увеличивается и может расколоть сосуд. Гиппократ, проведя простейший опыт, сделал важный шаг вперед в поисках методологии научного исследования.

Аристофан

Афинский комедиограф Аристофан (445?—385? до н. э.) высмеивал общепринятое мнение, будто дождь посылает всемогущий бог Зевс. Диалог Стрепсиада и Сократа из комедии Аристофана «Облака» заслуживает того, чтобы его процитировать¹:

Сократ. Что за Зевс? Перестань городить пустяки!
Зевса нет.
Стрепсиад. Вот так так! Объясни мне,
кто же дождь посылает нам?
Это сперва расскажи
мне подробно и ясно.
Сократ. Вот они. Кто же еще? Целый ворох
тебе приведу я сейчас доказательств.
Что, видал ты хоть раз, чтоб без помощи туч

¹ Перевод дается по изданию: Аристофан. Комедии. М., 1954, стр. 200.—Прим. перев.

Зевс устраивал дождь? Отвечай мне!
А ведь мог бы он, кажется, хлынуть дождем
из безоблачной ясной лазури.
Стрепсиад. Ты меня убедил. Соглашаюсь.
А ведь раньше и верно я думал,
что, Зевс сквозь небесное мочится сито.

Заключение

Традиция свободного поиска начинается с Милетской школы, в частности со времени «первого философа» Фалеса, когда каждое физическое явление стало объектом обсуждения и критики. В период древнегреческой цивилизации человек впервые предпринимает серьезные попытки понять явления природы и начинает задумываться над естественными, а не божественными причинами всего сущего. Фалес — первый философ, придававший большое значение воде. Впоследствии по его стопам пошел Пиндар, который в V в. до н. э. прямо заявил, что нет ничего лучше воды. Эллины впервые в истории стремились к знанию ради него самого. В это время были также посеяны семена гидрологии как науки. Они дали всходы лишь 2200 лет спустя, в XVII в., когда были выполнены экспериментальные работы Пьера Перро, Эдма Мариотта и Эдмунда Галлея.

Введение С середины V до начала IV вв. до н. э. в сфере научного мышления господствовали софисты и сократова школа. Об этом периоде мы знаем главным образом из сочинений Платона. Софисты не только утверждали, что чистая наука деградирует, но временами даже энергично ее критиковали. Положение изменилось при Платоне. Он отнюдь не поддерживал мнимых «мастеров мудрости» — философов, на которых нападали софисты, но очень увлекался математикой. Его интересовали научные законы и методы, особенно строение Вселенной. Он мечтал о том, чтобы изучение математики в законодательном порядке было сделано обязательным для всех, кто избирает себе политическое поприще. Над входом в его Академию стояла надпись: «Не математик — да не войдет».

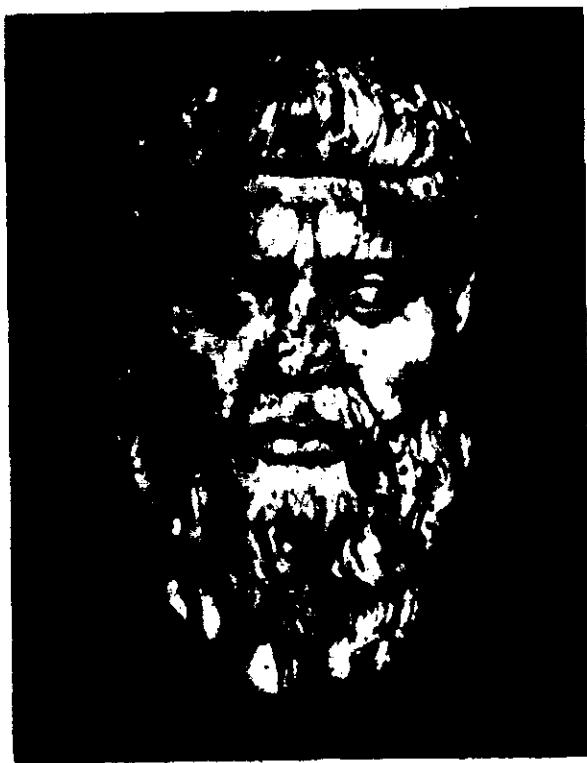
Аристотель оказал на развитие научного мышления такое влияние, как ни один человек до него, да, пожалуй, и после. Его идеи выдержали испытание временем в продолжение почти двух тысячелетий. Конечно, в течение этого времени они становились то более, то менее популярны, но и по сию пору мы восхищаемся ими.

Аристотель был первым энциклопедистом человечества, если не считать Демокрита. Многие из наших скудных знаний о греческой философии мы черпаем из его работ. Ученик Платона, он далеко превзошел его во всех областях знаний. Недаром некоторые утверждают, что если Платон получил известность, то только лишь потому, что был учителем Аристотеля.

Платон писал свои сочинения в форме вымышленных бесед между различными лицами, и в этих диалогах подчас невозможно отделить исторические факты от вымысла. У Аристотеля был иной метод. Он почти всегда излагал сначала точки зрения ученых прошлого, а затем уже высказывал свое мнение.

Платон

Биографические сведения. По сообщению ученых Александрийской школы, Платон родился в месяц таргелион (май — июнь), в первый год восемьдесят восьмой олимпиады (428—427 до н. э.), в семье знатных афинян «Золотого века Перикла» Аристора и Перикрионы.* Большую часть своей жизни он посвятил поискам истины. Весьма возможно, что он еще в детстве знал Сократа и собирался посвятить себя политике. Однако смертный приговор, вынесенный Сократу в 399 г. до н. э. по ложному обвинению в безбожии, оказал на него глубокое влия-



Платон (Музей скульптуры Карлсберг в Копенгагене).

ние и заставил отказаться от политических устремлений. Он посетил Италию и Сицилию, около 387 г. возвратился в Афины и основал там Академию. Это событие явилось важной вехой в истории науки и философии.

В 367 г. до н. э. Платону предложили стать наставником тридцатилетнего царя Сиракуз Дионисия II. Через несколько месяцев, убедившись, что он мало преуспевает в этом деле, Платон возвратился в Афины. В 361 г. царь Дионисий II уговорил Платона вернуться, но и при вторичной попытке тому не удалось научить царя сочетать власть с философией. Примерно через год он с опасностью для жизни возвратился в Афины и с тех пор больше не решался заниматься политикой. Последние годы своей жизни он посвятил Академии. Умер Платон в 348 или 347 г. до н. э.

Вода — первичный элемент. Платон принял концепцию о четырех основных элементах в природе — огне, воздухе, воде и земле, впервые сформулированную греческим философом Эмпедоклом из Агригентума, но добавил к ним еще пятый элемент, о котором говорил в несколько таинственных выражениях. Впоследствии Аристотель пояснил, что под пятым элементом следует понимать небо.

В теологии ассирийцев тоже говорится, что демиург сотворил весь мир из огня, воды, земли и эфира, или воздуха, питающего собой все. Следовательно, теория о четырех началах не была новой: Эмпедокл, вероятно, заимствовал ее у ассирийцев.

Происхождение рек и источников. В диалогах Платона происхождение рек и источников объясняется двояко. Наиболее известна гипотеза бездны (Таргара)¹, о которой говорил и Гомер [1]. Платон считал, что внутри земли имеются многочисленные, связанные между собой пустоты и ходы, одни широкие, другие узкие, и огромный подземный водоем Таргар. Пропасть, в которой он помещается, больше всех остальных и проходит сквозь всю землю. Находящаяся в ней вода не ограничена ни дном, ни руслом. Она все время течет вперед и назад.

«Когда вода отступает в те области, которые мы зовем внутренними, она течет сквозь землю по руслам тамошних рек и заполняет их, словно оросительные каналы; а когда

¹ Изложена в диалоге «Федон». — Прим. ред.

уходит оттуда и устремляется сюда, то снова наполняет здешние реки и они бегут подземными протоками, каждая к тому месту, куда проложила себе путь, и образует моря и озера, дает начала рекам и ключам»¹.

Воды всех рек и источников прямо или окольными путями текут обратно в Тартар. Как и египтяне, Платон знал одно из основных свойств воды, а именно, что она всегда течет вниз. Может быть, поэтому он утверждал, что места, где реки возвращаются в землю, всегда расположены ниже их истоков. Течение воды из Тартара в наземные водоемы и обратно — процесс непрерывный.

Другое объяснение происхождения рек и источников можно найти в диалоге «Критий», где Платон рассказывает, какая жизнь была в Афинах за девять тысяч лет до него:

«Воды, каждый год изливаемые от Зевса, не погибали, как теперь, стекая с оголенной земли в море, но в изобилии впитывались в почву, просачивались сверху в пустоты земли и сберегались в глиняных ложах, а потому повсюду не было недостатка в источниках ручьев и рек. Доселе существующие священные остатки прежних родников свидетельствуют о том, что наш теперешний рассказ об этой стране правдив»².

Возникает вопрос, принадлежит ли концепция Тартара самому Платону или он ее заимствовал. Крайнин, например, считает, что Платон сам не верил в существование огромного подземного резервуара. Недаром Сократ, предваряя рассказ о Тартаре, якобы говорит Симмию, одному из главных персонажей диалога «Федон»: «Если только уместно сейчас пересказывать миф». Зато Крайнин приписывает Платону создание первой плювиальной теории гидрологического цикла. «Приведенное в „Критии“ толкование происхождения рек и ручьев, — пишет он, — основано на глубоких наблюдениях, а не на легкомысленном приукрашивании гомеровского мифа, как в „Федоне“» [2].

Однако было бы ошибкой думать вслед за Крайниным, что Платон не верил в теорию Тартара и придерживался только плювиальной концепции происхождения рек и ручьев. Ему принадлежат, по-видимому, обе гипотезы (если, конечно, он действительно выдвигал плювиальную гипотезу).

¹ Цитируется по изданию: Платон, собр. соч. в 15 тт., П., 1922—29, т. 2, стр. 86—87. — *Прим. перев.*

² Платон, т. 3, ч. I, стр. 550 — *Прим. перев.*

Законы о воде. Платон проявлял интерес к законодательству, регулирующему водопользование, и здесь уместно коснуться его идей на этот счет. В общем он был удовлетворен действующими законами и не находил оснований для их изменения.

Каждому человеку разрешалось отводить воду из общественного источника на свой участок, если только он не посягал на частный водоем. Он мог направлять воду куда угодно, за исключением мест, занятых домами, святилищами и гробницами, лишь бы не портить при этом окрестной земли. При отсутствии воды в вырытом канале его можно было углублять до глинистого слоя земли, а если воды не было и там, разрешалось брать ее у соседей — в количестве, необходимом для всех членов семьи. Если же у соседей было мало воды, порядок пользования ею устанавливал «надсмотрщик за полями» — «агроном». Тот, кто жил на возвышенном участке, не имел права задерживать сток ливневых вод и этим причинять вред обработанному участку, расположенному ниже; точно так же человек, живший под горой, не должен был отводить дождевую воду как попало и этим наносить вред верхнему соседу. В случае недоразумений «агроном» решал, что следует делать каждому из соседей. Если же кто-нибудь намеренно загрязнял источник или зря расточал воду, отравлял чужой водоем или воровским образом отводил воду на свой участок, он должен был возместить убытки. Кроме того, если он загрязнил источник, то должен был очистить его.

Если бы эти положения соблюдались на протяжении веков, перед нами не стояли бы сейчас проблемы загрязнения воды!

Аристотель

Биографические сведения. Аристотель родился в 385 г. до н. э. в городе Стагира в Македонии. Его отец, Никомах, был известным врачом при дворе Аминтаса III, отца царя Филиппа Македонского. В 367 г. до н. э. Аристотель поступил в Академию Платона и покинул ее примерно через двадцать лет, уже после смерти своего учителя. По приглашению Филиппа Македонского Аристотель стал наставником юного царского наследника Александра. Около семи лет он обучал Александра политическим наукам и риторике. Когда Александр стал царем,

Аристотель вернулся в Афины. Так как Ксенократ не уступал ему руководство Академией, он основал Ликей, который сразу завоевал большую популярность (впоследствии Ликей, или Лицей, стали называть школой перипатетиков). Как и Платон, Аристотель занимался наукой ради науки. После смерти Александра в Афинах произошло восстание, и Аристотелю угрожал суд по ложному обвинению. Помня о судьбе другого великого философа, Сократа, Аристотель не медля бежал в Халкиду на Эвбее. Несколько месяцев спустя, в 322 г., он умер.

Представления Аристотеля о воде. Аристотелевская концепция Вселенной несколько напоминает теории Пифагора и Платона. Он признавал четыре элемента, каждому из которых приписывал два из четырех свойств: холодный, горячий, сухой и влажный. Таким образом, четыре элемента «земного мира» обладали четырьмя качествами: холодный — сухой (земля), холодный — влажный (вода), горячий — сухой (огонь) и горячий —



Аристотель
(Национальный музей
в Неаполе).

влажный (воздух).* Они могли порождать друг друга в круговой последовательности (рис. 10). В поддержку своей теории Аристотель ссылался на Эмпедокла:

Солнце везде яркое и горячее,
Дождь везде темный и холодный.

Вселенная Аристотеля была единой и конечной. Каждый элемент имел в ней свое определенное место, к которому он устремлялся в силу своей природы. Достигнув же этого места, он останавливался. Аристотель считал, что Земля находится в центре Вселенной и что она окружена водой, а огонь помещается под небом, но над воздухом. За самым высоким небом нет ничего, даже пустоты, ибо пространство конечно.

Первая книга по метеорологии. Аристотелю принадлежит первый трактат по метеорологии. Он так и назывался — «Meteorologica» («О метеорологических вопросах»). В нем рассматривались проблемы не только метеорологии, но также астрономии, химии, геологии и физики. Очень возможно, что четвертую книгу «Meteorologica» написал Стратон*; ее можно считать первым в мире элементарным учебником химии. Однако гидролога больше всего интересуют те части трактата, где речь идет о дожде, росе, граде, снеге, ветре, океане и о происхождении рек и источников.

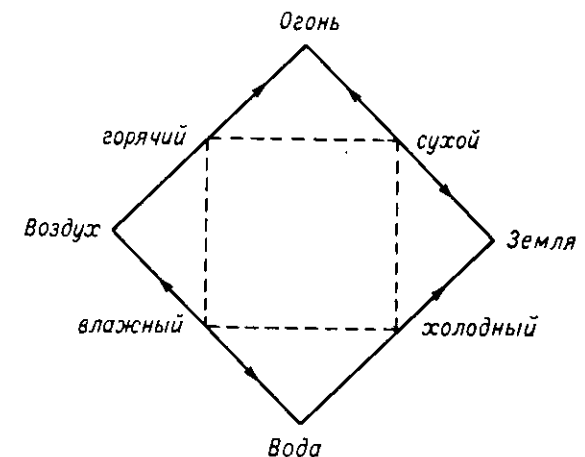


Рис. 10. Представление
Аристотеля об элементах
и их свойствах.

Образование осадков. Подобно своим предшественникам, Аристотель не имел четкого представления о различии между воздухом и паром. Воздух, будучи горячим и влажным, говорил он, представляет собой своего рода водянистый пар. По убеждению Аристотеля, под влиянием солнечного тепла с поверхности земли происходит испарение двух видов: испарение в собственном смысле этого слова и выделение колеблемого ветром тумана, похожего на дымку, но поднимающегося с сухой земли. Подгоняемый ветром туман, более сухой и теплый, поднимается над влажным паром. Аристотель считал, что по мере приближения или отдаления солнца от того или иного места пары рассеиваются или сгущаются, что ведет к упадку и гибели. Тепло, вызывающее испарение, исходит от солнца и от «другого жара сверху», но что собой представляет этот второй источник тепла, Аристотель не объяснял.

Поднимаясь вверх, пар постепенно теряет свое тепло, отчасти потому, что достигает верхних слоев воздуха, а отчасти из-за рассеивания в вышележащих слоях. В результате он уплотняется и превращается «из воздуха в воду». Уплотнившийся «воздух» образует облака, а они в свою очередь создают дождь. Остатки облака, превратившегося в воду, становятся туманом. Иными словами, туман — форма существования остатков облака, пролившегося дождем, а следовательно, он предвещает хорошую погоду, а не дождь. Когда солнце приближается к какой-нибудь местности, там начинается испарение, а когда оно отдалится — начинается «сгущение» (конденсация) и выпадает дождь. Так в зависимости от движения солнца происходит циклический процесс. Далее Аристотель описывает процессы, которые мы теперь называем круговоротом воды:

«Часть пара, образующегося днем, не может подняться высоко, ибо соотношение огня, заставляющего его подниматься, к воде, которая поднимается, мало. Когда эта часть пара ночью охлаждается и опускается, ее называют росой и инеем. Если пар замерзает до того, как он, уплотняясь, вновь становится водой, то образуется иней... А росой он становится, когда, уплотняясь, превращается в воду и когда тепла недостаточно, чтобы высушить поднявшуюся вверх влагу, а холода недостаточно (из-за теплого климата или теплого времени года), чтобы пар замерз».

Дождь образуется в результате конденсации большого количества пара над большой площадью в течение продолжительного времени, тогда как роса образуется из пара, собирающегося за один день на небольшой площади. Это видно из того, что роса

образуется быстро и в малых количествах. При замерзании облаков возникает снег. Иней — результат замерзания пара. Следовательно, между дождем и росой соотношение такое же, как между снегом и инеем, то есть из больших количеств пара образуется дождь или снег, а из малых — роса и иней.

Аристотель утверждал, что интенсивность дождя находится в прямой зависимости от скорости конденсации водяного пара и что сильные ливни бывают тогда, когда облако опускается в более теплый воздух. Это мнение было диаметрально противоположно точке зрения Анаксагора.

Происхождение рек и источников. Аристотель критиковал теорию Анаксагора, согласно которой реки берут начало в подземном водоеме (или водоемах) и текут весь год, если воды в водоемах хватает до начала зимних дождей. Если же воды недостаточно, реки на какой-то период пересыхают. Аристотель на это возражал, что если бы существовал такой водоем, способный вместить всю воду, изо дня в день постоянно текущую в реках, он был бы больше самой Земли или во всяком случае не намного меньше.

Расправившись таким образом с теорией Анаксагора, Аристотель высмеял гипотезу Тартара, выдвинутую его учителем Платоном. Прежде всего, указал он, будь эта идея верна, водные потоки текли бы соответственно их истоку из Тартара, то есть не всегда обязательно вниз. Далее, теория о Тартаре умалчивает о возникновении новой воды: если вода, вытекающая из Тартара, вся возвращается обратно, то каким образом восполняется потеря воды, происходящая при испарении? Читателю Аристотеля кажется, что философ безмерно удивляется: как это можно допускать такую нелепую ошибку — пренебрегать образованием новой воды? Наконец, приводит свой решающий аргумент Аристотель, ни одна из рек на Земле не несет свои воды обратно в Тартар, ибо на самом деле все реки впадают в океан или одна в другую. Поэтому платоновская концепция огромного подземного резервуара неверна. Опровергнув идеи Анаксагора и Платона, Аристотель изложил свою точку зрения. Если под влиянием холода, писал он, воздух над землей превращается в воду, то внутри земли должно происходить то же самое. В земле происходит постоянное превращение воздуха в воду, и отрицать это — крайне неразумно.

«Точно так же как над землей образуются мелкие капли, которые соединяются с другими, пока наконец вода массой дождя не падает вниз, так, очевидно, и внутри земли вода мало-помалу стекается, а затем источники, образующие реки, вытекают из земли и соединяются. Это доказывается фактами. Когда люди строят водовод, они собирают воду в трубы и каналы, как если бы земля на возвышенностях потела водой. Вот потому-то реки текут с гор и чем выше горы, тем многочисленнее и полноводнее текущие с них реки. По этой же причине большинство источников находится поблизости от гор и возвышенностей, тогда как на равнинах, за исключением рек, вода встречается редко. Ибо горы и возвышенности, нависающие над землей, как пропитанная водой губка, заставляют воду выделяться и стекаться в ничтожных количествах, но во многих местах. Горы получают также большое количество воды падающей в виде дождя».

И дальше Аристотель дает еще одно объяснение происхождения рек и источников: «...они [горы] также охлаждают пары, которые поднимаются, и снова превращают их в воду». Мысль выражена здесь довольно неясно; в средние века много спорили о том, откуда берется поднимающийся пар, ибо в своем трактате Аристотель об этом ничего не говорит.

Следовательно, Аристотель дает три различных объяснения происхождения рек:

- 1) выпадение дождей и просачивание воды;
- 2) сгущение «воздуха» в воду под землей;
- 3) сгущение поднимающихся паров неизвестного происхождения.

По мнению Аристотеля, горы вбирают в себя влагу подобно губке. Если это причина или одна из причин возникновения рек, то почему одни реки текут круглый год, а другие только в определенный сезон? У Аристотеля и на этот вопрос был готовый ответ. Все дело в размере гор, в плотности пород, из которых они сложены, и в их температуре. Если горы высокие, плотные и холодные, они в состоянии улавливать, образовывать и удерживать значительные количества воды, и потому стекающие с них реки полноводны весь год. Если же горы невысоки, состоят из пористых, каменистых или глинистых пород, то они быстро теряют свои запасы воды и тогда рекам хватает ее только на один сезон.

Соленость морской воды. Аристотель, подобно Гиппократу полагал, что под воздействием солнца испаряется только наиболее легкая, пресная часть воды. Море, говорил он, должно су-

ществовать вечно: солнце, приближаясь, притягивает воду, но когда оно отдаляется, вода возвращается в виде дождя. Пока этот цикл не прекратится, море не иссякнет.

Испаряясь, морская вода каким-то образом освобождается от соленого вкуса. В том, что это так, он убедился на опытах. И не только вода, все вина, да и вообще любая жидкость ведет себя точно так же — при дистилляции превращается в пресную воду. А вот почему морская вода соленая, Аристотель объяснял очень странным образом. Он считал, что каждое произрастающее на Земле растение оставляет в почве осадок в виде соли. Поскольку испарения с поверхности воды всегда смешиваются с испарениями с земли, некоторое количество этого осадка обязательно присутствует в облаках, поэтому дождь всегда несет с собой сухие соленые выделения. Такими же причинами Аристотель объяснял соленость первых осенних дождей и дождей, приносимых с юга. А так как этот процесс повторяется непрерывно, море постепенно стало соленым.

Заключение

Главным вкладом Платона в гидрологию были две его гипотезы о происхождении рек и источников. Наиболее известна его гипотеза Тартара, которую резко критиковал Аристотель. По-видимому, в диалоге «Критий» Платон выдвинул плювиальную концепцию происхождения водоемов, но она до сих пор почти не привлекала внимания ученых.

Вряд ли можно усомниться в том, что Аристотель был одним из величайших мыслителей всех времен. Обладая энциклопедической широтой научных интересов, он постиг основы научного метода, как ни один человек до него, да и долгое время после его смерти. Подход Аристотеля к науке можно считать несколько педантичным. Больше всего он сделал в биологии. Ученики Аристотеля собрали множество наблюдений, иногда находили им очень разумные толкования, но страдали многословием и нерешительностью в выводах. Многие свои объяснения Аристотель заканчивал словами: «*Kai para tauta iden*» («А за этим больше ничего»). Он принимал на веру многие «бабы вымыслы», например утверждение, будто у мужчин больше зубов, чем у женщин, и ни разу не попытался проверить это мнение,

хотя был дважды женат и мог без труда это сделать. Можно было бы сказать, что греки ограничивались предположениями, потому что не знали измерительных инструментов, но это было бы преувеличением. Они, безусловно, умели измерять длину (мерной цепью), время (водяными часами), вес (весами с коромыслом), но не всегда пользовались этими приборами. Их больше интересовал вопрос «почему?», чем «сколько?». Аристотель говорил, что «все люди по природе своей жаждут знать», но только через два тысячелетия человечество услышало от Иоганна Кеплера, что «знать — значит измерить».

Вклад Платона и Аристотеля в гидрологию лучше всего охарактеризовать словами самого Аристотеля, выгравированными на здании Национальной академии наук в Вашингтоне:

«Искать истину — и легко, и трудно, ибо очевидно, что никто не может ни целиком ее постигнуть, ни полностью ее не заметить, но каждый добавляет понемногу к нашему познанию природы, и из совокупности всех этих фактов складывается величественная картина».

Введение

После Аристотеля во главе Ликия стал его ученик и почти современник Теофраст (372—287 до н. э.). Диоген Лаэртский сообщает, что в юности его имя было Тиртам, но Аристотель, пораженный красноречием своего ученика, назвал его Теофраст (божественный оратор). Он был плодовитым писателем, и Диоген приписывает ему 227 трактатов на самые различные темы. Почти все они утрачены, но некоторые выводы можно сделать и из дошедших до нас отрывков из трактатов «О признаках бурь, дождей, ветров, ясной и бурной погоды», «О ветрах» и «О метеорологических вопросах» («Meteorologica»).

Примерно в то же время, когда жил Теофраст, в Индии были произведены первые в мире измерения количества атмосферных осадков. Эта заслуга принадлежит находчивому государственному казначею Каутилье. Он решил взимать налог с земельных участков в зависимости от количества получаемых ими осадков, считая, что так он косвенным образом облагает налогом сельскохозяйственные продукты.

Теофраст о гидрологии

Подлинный трактат Теофраста по метеорологии утерян, но он был в свое время переведен на сирийский язык, а впоследствии с сирийского неизвестным арабом — на арабский. Кроме того, арабский переводчик составил краткий конспект трактата. По мнению Бергштрессера, этот конспект был сделан в 1446 или 1447 г.

н. э. с той копии труда Теофраста по метеорологии, которая имела хождение среди эпикурейцев, причем переписчик был явно несведущ и небрежен. Сейчас установлено, что четыре страницы этого конспекта бесспорно относятся к работе Теофраста. Из них явствует, что метеорологические теории Теофраста следуют традиционным представлениям того времени и продолжают учение великого мыслителя с того самого места, где он остановился. Приведем некоторые основные положения этого конспекта.

Когда облака, не успевшие освободиться от своего груза воды, попадают в холод, они замерзают и тогда вместо дождя идет снег. Облако всегда содержит мельчайшие капельки воды, отделенные друг от друга воздухом; при замерзании они образуют снежные хлопья, в которые попадают частицы воздуха. При сжатии и сдавливании снег превращается в воду, причем объем его уменьшается, так как он освобождается от воздуха. Легкость и белизна снега подтверждают теорию о том, что в нем заключен воздух. Иней и лед образуются благодаря тому, что при холоде замерзает роса. Белизна льда опять-таки объясняется присутствием в нем воздуха, да и вообще лед — это соединение снега с инеем на морозе. Капли воды, будучи влажными, замерзают и становятся круглыми градинами, потому что при падении у них обламываются углы и сглаживается поверхность (сравните с теорией Сенеки, изложенной в главе 5), да и холод, сжимая, превращает их в шарики.

Не будет преувеличением сказать, что Теофраст был первым человеком, которому удалось проникнуть в сущность гидрологического цикла [1]. (Позднее его идеи были заново изложены римским архитектором Витрувием.) В конспекте трактата Теофраста отделение пара от поверхности воды объясняется действием ветра: «Воздух часто уплотняется, иногда на востоке, иногда на западе, иногда на севере или на юге; если он собирается и не находит свободного пространства, то передвигается из одной области в противоположную, ибо свободное пространство притягивает его, а вместе с ним двигается пар, поднимающийся с воды и земли, пока они не заполнят все свободное пространство». Позднее Прокл в комментарии к «Тимею» Платона вкладывает в уста Теофраста такие слова: «Есть только одна причина дождя, а именно — давление облаков на гору». Еще позднее почти те же мысли и почти в тех же выражениях были сформулированы Витрувием (см. главу 5), прямо заявившим, что он внимательно изучил труды Теофраста. Создается впечатление, что именно этот греческий мыслитель первым создал концепцию круговорота воды, и Гильберт [2] энергично ратует за это. В начале своего трактата «О ветрах» Теофраст говорит, что причины про-

исхождения ветров уже изложены, а потому он будет касаться только тех воздействий, которые оказывают ветры, и тех сил и условий, которые связаны с ветрами. Скорее всего он имел в виду свой собственный трактат «Meteorologica» (или же работу своего знаменитого учителя, носящую то же название). Третья книга Теофраста «О явлениях погоды — дождях, ветрах, бурях и ясных днях», — это собрание заметок о предсказании погоды.

Вот типичная выдержка оттуда: «Если журавли летят рано и во множестве — значит буря наступит скоро; если же они летят поздно и долго, значит буря наступит позднее. Если в полете они описывают круги, это также предвещает бурю».

Гидрометеорологические наблюдения

Греки, вероятно, первыми начали производить систематические гидрометеорологические наблюдения. Теофраст сообщает, что в Греции и в Малой Азии многие проявляли большой интерес к метеорологическим наблюдениям. Правда, эти наблюдения не включали количественные измерения и большей частью сводились к замечаниям такого рода: «В такой-то день, в такой-то час шел дождь». Иногда гидрометеорологические данные вывешивались в публичных местах в форме так называемых парапегм¹ (астрономических таблиц или альманахов). Обычай вывешивать парапегмы существовал в Афинах уже в V в. до н. э. при Метоне и Эвктемоне. В одной типичной парапегме читаем [3]:

5 сентября — Восход Арктура. Южный ветер, дождь и гром.

12 сентября — Погода, вероятно, изменится.

14 сентября — В течение семи дней ожидается преобладание ясной погоды, затем подуют восточные ветры.

Первые количественные гидрометеорологические измерения (атмосферных осадков) производил в IV в. до н. э. Каутилья, знаменитый министр Чандрагупты, основателя династии Маурьев в древней Индии.

¹ От греч. «парапэгнюнай» — прикреплять. — *Прим. ред.*

Самое раннее упоминание о дождемере встречается в книге Каутильи «Артхашастра» («Наука о политике и управлении»), написанной, вероятно, в конце IV в. до н. э. В ней говорится: «Перед амбаром поставь сосуд с отверстием размером в аратни, он будет служить дождемером». Далее, в главе «Надсмотрщик над земледелием», сказано:

«Количество дождя, выпадающего в стране джангала [джунглей], составляет 16 дрон, а во влажных областях — в полтора раза больше; что же касается областей, пригодных для земледелия, то в стране асмаков (Махараштра) выпадает $13\frac{1}{2}$ дроны; в аванти — 23 дроны; а в западных областях, на границе с Гималаями, и в тех областях, где для нужд сельского хозяйства прорыты каналы, выпадает огромное количество дождя. Если одна треть необходимых дождей выпадает в начале и в конце сезона, а две трети — в середине, то считается, что дожди распределились очень равномерно».

Аратни был общепринятой в то время мерой длины. Подобно локтю, он составлял около 18 дюймов, то есть равнялся расстоянию от локтя до кончиков пальцев. Эта мера и сейчас распространена в некоторых сельскохозяйственных районах Индии, но называется она «хат» (рука). К сожалению, Каутильи ничего не сообщает о форме дождемера. В сравнительно недавнем переводе «Артхашастры» [4] переводчик сообщает в примечании: «Если принять, что дрона составляет 511 кубических дюймов, а поверхность цилиндрического дождемера Каутильи равнялась 254,3 квадратных дюйма, то 16 дрон — это около 32 дюймов слоя осадков; при приемном отверстии дождемера в форме квадрата (18×18 дюймов) 16 дрон осадков равны слою в 25 дюймов». По словарю Вебстера, дрона равна 16,5 л, а поскольку 1 л равен 61,2 куб. дюйма, дрона составляет $16,5 \times 61,2 = 1007$ куб. дюймов. В таком случае цифра, приведенная переводчиком, примерно в два раза меньше той, которую можно вывести на основании данных словаря.

Каутильи полагал, что атмосферные осадки можно предсказывать по наблюдениям за планетами Юпитер и Венера и за Солнцем. Большой интерес представляет его классификация облаков:

«Три тучи — это тучи, из которых льет дождь непрерывно на протяжении семи дней; восемьдесят — те, кото-

рые дают морось; шестьдесят — облака, которые появляются, когда светит солнце; из них идет дождь; если дождь, не сопровождаемый ветром и не перемежающийся сиянием солнца, продолжается столько, что за это время можно трижды вспахать землю, хороший урожай обеспечен».

Дождемеры нужны были по двум причинам: земля облагалась налогом в зависимости от количества выпавших на нее каждый год атмосферных осадков [7]; главный надсмотрщик над земледелием должен был иметь правильное представление о погоде, чтобы решать, какие культуры следует сеять [8].

Следующие после Каутильи измерения осадков были выполнены только около I в. до н. э. в Палестине.

Заключение

Два важнейших события рассматриваемого периода — это создание концепции круговорота воды и первые рациональные попытки измерить количество атмосферных осадков. Известно, что Каутильи установил на Индийском субконтиненте ряд дождемеров. К сожалению, после него измерение осадков прекратилось.

Введение

В этой главе выражение «Римская цивилизация» употребляется применительно к периоду от 100 г. до н. э. до конца II в. н. э. Может быть, правильнее было бы говорить «греко-римская цивилизация», так как по сравнению с греками римляне создали очень мало оригинальных научных концепций, хотя смогли построить великолепные акведуки, снабжавшие Рим ежедневно миллионами галлонов воды, замечательную канализацию и очень хороший порт. Даже в период расцвета Римской цивилизации языком ученых оставался греческий, а все крупнейшие писатели (например, Варрон, Витрувий, Целс, Плиний и Сенека) старались поразить читателя скорее энциклопедическими познаниями, нежели оригинальными и независимыми суждениями. Это оказало глубокое влияние на интеллектуальную жизнь Западной Европы в раннем средневековье.

Можно не без основания утверждать, что римляне были «инженерами-практиками». Например, их акведуки, по сей день вызывающие восхищение, строились без сознательного применения законов физики или научного решения строительных проблем. Такие деятели, как Витрувий или Фронтин, пытались письменно изложить некоторые принципы, подсказанные практикой, но в целом римляне были удовлетворены существовавшим положением.

Витрувий

Биографические сведения. Витрувий родился в Северной Италии, возможно

в Вероне. О его жизни мы знаем только то, что он сам сообщает в своей знаменитой работе «Десять книг об архитектуре». Свой труд Витрувий посвятил «императору Цезарю». Возможно, впрочем, что он имел в виду Октавиана, приемного сына Юлия Цезаря. По единодушному мнению исследователей, «Десять книг об архитектуре» написаны в период между 27 и 17 гг. до н. э. Витрувий говорит о себе в книге как о старике, следовательно, во второй половине I в. до н. э. он находился в расцвете сил.

Некоторые исследователи утверждают, что книга была написана около 400 г. н. э. неким «псевдо-Витрувием», рядовым компилятором, у которого не хватило ни ума, чтобы понять первоисточник, ни литературного дара, чтобы хорошо изложить его содержание. Правда, этой смехотворной точки зрения придерживаются очень немногие.

В книге Витрувия, написанной на латыни, хотя языком науки в то время был греческий, собраны самые различные сведения по архитектуре. Витрувий не особенно заботился о стиле изложения — он явно не был поклонником Муз.

Тем не менее влияние его работы, написанной в духе эллинистической, а не римской традиции, ощущалось в классической архитектуре вплоть до периода Ренессанса. Витрувий считал архитектуру всеобъемлющей наукой, требующей знания астрономии, черчения, геометрии, истории, юриспруденции, медицины, оптики и философии. Сам он был, по-видимому, неудачливым архитектором, хотя говорит о себе в весьма лестных выражениях:

«Что же касается области моего искусства и всех заключающихся в нем теорий, то я могу, как я надеюсь, без колебания обещать представить все это в моих книгах с полным знанием дела не только строителям, но и всем просвещенным людям»¹.

Это честолюбивое намерение Витрувий выполнил: почти вся теория и практика псевдоклассической архитектуры Ренессанса основывалась на его «Десяти книгах». Они оказали большое влияние на многих знаменитых архитекторов, в частности на Браманте, Микеланджело и Виньолу.

Как найти воду. Книга восьмая труда Витрувия посвящена воде. В конце предисловия к ней говорится:

¹ Цитируется по изданию: Витрувий. «Десять книг об архитектуре», М., 1936, стр. 25.— *Прим. перев.*



Рис. 11. Поиск подземных вод по Витрувию (рисунок XV века).

«Итак, если, согласно учению физиков, философов и жрецов, можно полагать, что силою воды держатся все вещи, я решил, что, изложив в предыдущих семи книгах теорию строений, следует в этой написать о способах находить воду и о том, какими свойствами она обладает в зависимости от особенностей места, каким способом она проводится и каким образом перед этим проверяется. Она, действительно, в высшей степени необходима и для жизни, и для удовольствия, и для повседневного употребления»¹.

В главе 1 Витрувий рассказывает, как отыскивать воду. Если нет открытых текущих источников, воду надо искать под землей. Для этого Витрувий советует перед восходом солнца лечь ничком на землю (рис. 11) в том месте, где производятся поиски воды, опереть подбородок на землю и только после этого оглядеть окрестность. Дело в том, что лишь при этом условии обзор будет ограничен определенной высотой. Вода может находиться там, где над землей в воздух поднимаются испарения (при сухой почве это невозможно).

Воду разумно искать и там, где встречаются растения, типичные для болотистых местностей. Найдя соответствующее место, следует вырыть яму шириной и длиной не менее 3, глубиной не менее 5 футов и перед заходом солнца поместить туда вверх дном медный сосуд, смазанный изнутри маслом. После этого яму заполняют тростником или листьями и закидывают землей.

Если на следующий день на стенках сосуда окажутся капли воды, значит, здесь действительно есть вода. Следует отметить, что Витрувий нигде в своей книге не предлагает прибегнуть к «волшебному пруту»* для отыскания воды. Все предлагаемые им способы отыскания подземных источников имеют рациональную основу.

Характер почво-грунтов также может свидетельствовать о наличии воды и поэтому заслуживает самого пристального внимания. В табл. 2 приводятся данные о свойствах воды, встречающейся в различных видах почво-грунтов (по Витрувию).

Если описанные выше опыты укажут на наличие воды, Витрувий советует выкопать в данном месте колодец. Если в нем действительно окажется вода, вокруг надо выкопать еще

¹ Витрувий, стр. 152.— *Прим. перев.*

несколько дополнительных колодцев и соединить их подземными каналами с основным водоемом, откуда воду можно отводить куда угодно.

Витрувий советовал искать воду в горах, где ее больше и где она пресная и полезная для здоровья. К тому же в гористых местностях не происходит потери воды из-за испарения, так как «места эти выходят на сторону, противоположную пути солнца», и покрыты густыми лесами, мешающими солнечным лучам проникнуть до поверхностных вод.

Круговорот воды. Витрувий был знаком с работами Аристотеля и Теофраста по метеорологии и имел довольно ясное представление о круговороте воды. Он утверждал, что горные долины получают больше осадков и снег задерживается там значительно дольше благодаря густым лесам. Снега, «растаяв, просачиваются глубоко сквозь жилы земли и достигают самого подножия гор, откуда, изливаясь, выбиваются струи родников».

Подобно Гиппократу и Аристотелю, Витрувий был уверен, что испаряются только самые легкие, разреженные и полезные для здоровья частицы воды, а частицы тяжелые, грубые, неприятные остаются. Влажные испарения, поднимающиеся с земли при восходе солнца, гонят перед собой воздух, а их в свою очередь подгоняет воздух, поступающий сзади. Этот натиск воздуха разгоняет испарения во все стороны и от этого возникают резкие порывы ветра, шквалы и вихри. Ветер на своем пути собирает влажные испарения, поднимающиеся из источников, рек, болот и морей под влиянием солнечного тепла. Этот «сгустившийся пар» возносится и образует облака, поддерживаемые «волной воздуха». Когда облака наталкиваются на горы, то вследствие удара и «по причине полноты и тяжести» облаков выпадают осадки. Вот почему в горах всегда больше осадков, чем на равнинах. Следовательно, образование паров, поднимающихся с земли, влажных испарений и облаков, связано, очевидно, со способностью земли удерживать большое количество тепла, с сильными ветрами, холодом и наличием больших масс воды. «...Когда восходящее солнце внезапно озаряет охлажденный за ночь круг земли или дуновение ветра подымается во мраке, то облака из сырых местностей возносятся кверху... воздух, раскаленный солнцем, крутясь, вытягивает из земли испарения...»

Этот процесс можно сравнить с тем, что происходит в нагретой бане, где нагретая вода испаряется и поднимающийся пар образует капли на потолке. Когда капли становятся достаточно большими, они падают на головы моющихся. Логично предположить, что поскольку на потолке нет источников влаги, значит вода поднялась из банного чана. В последующие столе-

Таблица 2. Свойства воды, встречающейся в почво-грунтах различных видов (по Витрувию)

Почво-грунты	На какой глубине может находиться вода	Количество воды	Вкус	Примечания
Глинистые	Близ поверхности земли	Скудное	Плохой	
Рыхлые, крупнопесчаные	Глубже от поверхности земли	Скудное	Неприятный	Грязная
Темно-цветные	—	—	Прекрасный	Имеется в наличии после зимних дождей
Гравий	—	Малое и неопределенное	Необычно пресный	—
Крупный гравий, песок обычный и песок красный	—	Более определенное	Хороший	—
Красный песчаник	—	Обильное	Хороший	Добыть ее трудно из-за просачивания
Кремнистые породы и осыпи у подножия гор	—	Обильное	Хороший	Холодная и полезная для здоровья

тия ученые не уставали повторять различные теории Витрувия, а его аналогию с баней приводили даже в X в. н. э.

Происхождение горячих и холодных источников Витрувий объяснял примерно так же, как в XVII в. н. э. И. Кирхер. Римский архитектор утверждал, что в недрах Земли огонь воспламеняет квасцы, горную смолу или серу и «разгорячает землю над ними». От этого протекающая поблизости подземная вода нагревается и при выходе на поверхность образует горячие источники. Если она долго течет под землей, то ко времени выхода на поверхность охлаждается, но ее вкус, запах и цвет оказываются испорченными.

В последней главе речь идет об акведуках, трубах, колодцах и цистернах. Витрувий советует отводить воду при помощи искусственных каналов или труб — из свинца или из обожженной глины. Каналы должны иметь очень прочное ложе и уклон не менее 1:200. Желая, очевидно, избежать потерь воды из-за испарения, Витрувий советовал строить крытые каналы.

По крытому каналу вода поступает из реки в водоем, построенный в пределах городской стены. Оттуда она по трем трубам направляется в три соединяющиеся цистерны (рис. 12). Первая цистерна снабжает водой общественные бани, вторая, центральная, — общественные водоемы и фонтаны города, третья — частные дома.

«Если же воду проводят по свинцовым трубам, то первым делом у источника надо построить водоемную башню; а затем, установив поперечник труб соразмерно с количеством воды, уложить их от первой башни до башни, которая будет в городе. Трубы отливают длиною не менее десяти футов».

Витрувий предпочитал свинцовым трубам гончарные, так как их легче чинить, да и вода в них «не вредная, здоровая».

Витрувий, как и все римские ученые, по-видимому, не подозревал, что расход воды зависит от скорости потока и площади поперечного сечения (Герон Александрийский, был, вероятно, единственным из римлян того времени, кто имел более правиль-

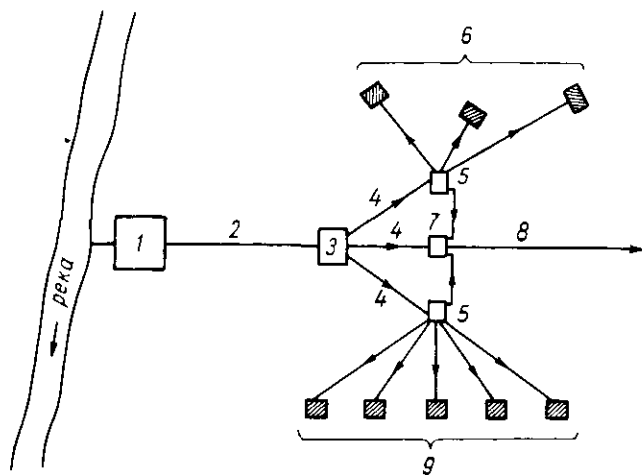


Рис. 12. Система водоснабжения римского города.

1 — главный водоем; 2 — канал или труба (свинцовая или гончарная); 3 — городской водоем («кастеллум»); 4 — трубы одинакового диаметра; 5 — цистерны (водоемы); 6 — общественные бани; 7 — центральная цистерна; 8 — отвод воды в общественные цистерны и фонтаны; 9 — частные домовладения.

ное представление об этом явлении). Римляне, в том числе и Витрувий, определяли расход воды только на основе измерения поперечного сечения потока, размеров отверстия или сечения трубопровода, через которое течет вода.

Измерение расхода воды

Из всех гидрологических данных данные о речном стоке имеют, наверное, наибольшее значение для гидрологов. Тем не менее прошло немало времени, прежде чем люди постигли азбучную истину, составляющую ныне основу элементарной гидравлики: расход потока равен площади его поперечного сечения, умноженной на скорость ($Q = A \cdot V$). Первым это положение установил Герон Александрийский, но в то время оно, очевидно, почти не привлекало внимания ученых и нашло применение только после 1628 г., когда к нему самостоятельно пришел Бенедетто Кастелли.¹

Вопрос о том, когда жил Герон Александрийский, по сей день вызывает споры среди историков науки. Предполагаемые ими даты колеблются примерно от 150 до 250 г. н. э. Правда, сейчас возобладала точка зрения, что расцвет творчества Герона приходится на период не ранее 65-го, но не позднее 150 г. н. э. Если это так, Герон жил после Витрувия и почти одновременно с римским гидротехником Секстом Юлием Фронтином. Главные работы Герона, который возглавлял Александрийскую школу, — «Пневматика» и «Диоптры». Как и Фалес, он был практиком и больше всего думал об утилитарном применении науки. Неудивительно, что его иногда называют первым в мире инженером.

В «Пневматике» Герон описывает более двадцати способов применения сифона и объясняет, как им пользоваться при работах по осушению и ирригации. По его словам, сифоны широко применялись для ирригации земель на границах с пустынями. Он советует прибегать к их помощи для отвода воды по пологим склонам возвышенностей и в долины.

Вторую книгу Герона, «Диоптры», перевел в III в. н. э. Паппий. Это выдающийся труд о правилах земельной съемки, полу-

¹ Леонардо да Винчи исследовал распределение скорости течения в открытых руслах, но автору не удалось найти доказательств того, что на основании этих данных ученые определяли величину расхода. — *Прим. авт.*

чивший свое название от описанного в нем прибора — диоптров*, — который употреблялся для той же цели, что и современный теодолит. Что касается гидрологии, то наибольшим вкладом Герона следует считать его метод измерения расхода воды. Вот постановка задачи и ее решение в его изложении:

«Дан источник, требуется определить его расход, то есть количество воды, которое он дает.

Следует, впрочем, заметить, что расход не всегда остается неизменным. Во время дождей, например, он увеличивается, так как вода на холмах, находящаяся там в избытке, выжимается энергичнее. Но во время засухи расход уменьшается, так как источник не пополняется водой. У хороших источников, однако, расход уменьшается ненамного.

Для определения расхода воды надо преградить путь источнику, с тем чтобы никакая часть его воды не уходила на сторону, и соорудить свинцовую трубу прямоугольного сечения. Следует позаботиться о том, чтобы поперечное сечение трубы намного превосходило поперечное сечение потока воды. Далее трубу следует поместить таким образом, чтобы вся вода источника целиком проходила через нее. Это означает, что трубу надо поместить ниже источника, где в нее попадает весь поток воды. Такое место ниже источника следует найти при помощи диоптров. Итак, вода, втекающая в трубу, заполнит часть ее поперечного сечения. Предположим, что эта часть составляет в высоту 2 дигита,¹ а общая ширина трубы — 6 дигитов. Тогда величина потока будет равняться $6 \times 2 = 12$ квадратным дигитам.

Следует заметить, что для определения количества воды, даваемого источником, недостаточно найти площадь его поперечного сечения, составляющую в данном случае 12 квадратных дигитов. Необходимо также определить скорость потока, ибо чем быстрее движется вода, тем больше ее дает источник, а чем медленнее — тем меньше. Поэтому надо выкопать ниже источника бассейн, с помощью солнечных часов определить, какое количество воды втекает в бассейн за данное время, а затем вычислить количество воды, притекающей за день [рис. 13]. Поэтому излишне измерять площадь поперечного сечения потока. Ибо измерение времени покажет, сколько воды дает источник».

¹ Дигит, или дактиль, — древнегреческая мера длины, равная 1,85 см [1]. — *Прим. авт.*

Положение Герона о том, что расход потока зависит от скорости движения воды, воспринималось его современниками как частный случай и не нашло применения на практике, может быть, потому, что ученый намного опередил свое время. Как уже говорилось выше, два великих деятеля той эпохи — Витрувий и Фронтин — считали, что поток зависит только от площади поперечного сечения, и именно так определяли его величину. С высказываниями Витрувия на этот счет мы уже ознакомились, теперь вкратце расскажем о точке зрения Фронтинана.

Секст Юлий Фронтин (Фронтинус) (35?—104 н. э.), бывший некоторое время при императоре Веспасиане наместником в Британии, около 97 г. н. э. был назначен императором Нервой на пост куратора водоснабжения (*curator aquarum*) Рима. Хотя Фронтину было в то время 62 года, он с большим рвением при-



Рис. 13. Первое точное измерение расхода воды, произведенное Героном Александрийским (реконструкция А. Фразье). (Около мерного сосуда установлены солнечные часы, поодаль видны диоптры. — *Прим. ред.*)

нялся за свои обязанности. Вероятно, на следующий год после своего назначения он начал писать замечательный труд — «О водоснабжении города Рима» (*De aquis urbis Romanae*) [2,3]. Книга эта содержит массу сведений о системах и методах водоснабжения, применявшихся римлянами в I в. н. э.

Как уже указывалось, Фронтин не имел ясного представления о том, что расход воды в открытом русле зависит от скорости течения, площади поперечного сечения и уклона. Римляне, так же как до них египтяне, понимали, что вода может течь только под уклон. Наклоны акведука диктовались скорее топографическими условиями, чем гидравлическими соображениями. Уклоны дна одного и того же акведука на разных участках часто варьировали от 1:2000 до 1:250. Вряд ли римские архитекторы и строители имели представление о том, каким образом увязать площадь сечения с уклоном дна, чтобы получить тот или иной расход воды. По-видимому, они просто строили часть акведука, и если расход воды в нем был слишком мал, то они увеличивали либо площадь поперечного сечения, либо уклон (последнее более вероятно). Таким образом, они определяли необходимый уклон путем подбора. Есть и другая точка зрения на этот счет, утверждающая, что римляне определяли необходимый уклон при помощи уровня излюбленного ими типа — так называемого хоробата¹. Сторонники этой теории объясняют неровность уклонов некоторых участков акведуков неточностью хоробатов или неумением строителей обращаться с ними.

И все же Фронтин догадывался о влиянии напора и скорости течения на величину расхода. В § 35 своей книги он пишет:

«В этой связи не следует забывать, что всякий поток, текущий с возвышенности и проходящий на пути к распределительному бассейну по короткой трубе, дает воду не только в соответствии со своим размером, но и с избытком; но если он течет с менее возвышенной точки, то есть с меньшим напором, и если он должен пройти довольно большое расстояние, то из-за сопротивления водовода размеры потока станут меньше».

В § 33 он говорит:

«Отсюда следует, что величина измеренного мною количества воды не превышена; объясняется это тем, что в более бурных потоках воды больше, так как она поступает из большой и быстротекущей реки».

¹ От греческих слов «хорос» — местность и «батюс» — глубина, высота. — Прим. ред.

Судя по этим двум аналогичным высказываниям, Фронтин, очевидно, считал, что существует некий «нормальный», или стандартный, расход для данного поперечного сечения и что если фактический расход превышает стандартный для данного сечения, то причина этого — необычайная скорость течения или больший, чем обычно, напор. Но чему равен стандартный расход воды? Ответ на этот вопрос содержится в § 65, где Фронтин говорит об Аппиевом акведуке, явно впадая в ошибку:

«По реестровым записям считается, что Аппиев акведука дает 841 квинарию воды. Расход воды в нем не мог быть измерен у водозабора, ибо там акведука состоит из двух каналов; но ниже святилища Спеса Ветуса, где он соединяется с рукавом акведука Августа, глубина воды составляет 5 футов, а ширина $1\frac{3}{4}$ фута, то есть площадь поперечного сечения потока равна $8\frac{3}{4}$ квадратных футов; это соответствует 22 трубам поперечником не менее чем по 100 квадратных дигитов и еще одной трубе поперечником 40 дигитов. Это все составляет 1825 квинарий, то есть на 984 квинарии больше, чем значится в реестрах. Расход же в акведуке составлял 704 квинарии, на 137 квинарий меньше, чем по реестрам, и на 1121 квинарию меньше, чем показали измерения ниже святилища».

Следующий простой расчет показывает, что Фронтин приравнял величину расхода к площади поперечного сечения потока: Площадь поперечного сечения: $5 \times 1,75 = 8,75$ кв. футов = $= 1260$ кв. дюймов.

1 квинария = $0,69026$ кв. дюймов (площадь отверстия диаметром $1\frac{1}{4}$ дигита).

Расход потока: $\frac{1260}{0,69} = 1825$ квинарий.

Куратор водоснабжения никак не мог свести концы с концами в своих записях учета воды, и это неудивительно, ибо он полностью пренебрегал скоростями течения воды и уклонами. Он, однако, не утруждал себя поисками причин нехватки воды и объяснял ее только утечкой водотоков и воровскими проделками римлян, которые, видимо, умудрялись отводить к себе во-

ду, не «обременяя» власти лишними хлопотами. Но даже допуская, что в трубах и в самом деле были утечки, а римляне пользовались водой незаконно, логично предположить, что неувязка объяснялась скорее всего тем, что в трубах вода текла быстрее, чем в каналах, питавших акведуки.

Единицей измерения текущей воды у римлян была квинария — сечение трубы диаметром $1\frac{1}{4}$ дигита. Гершель [3] в результате исследований пришел к выводу, что квинария составляла «5000 или 6000 американских галлонов воды в сутки плюс — минус 2000—3000 галлонов в зависимости от данных условий». Следует, однако, указать, что при известных обстоятельствах расход воды можно приравнять к площади поперечного сечения потока. Фронтин предупреждал, что «при пользовании насадками (короткими трубками определенного диаметра, по размерам которых взималась плата за пользование водой) надо следить за тем, чтобы они были установлены на одном уровне, а не одна выше другой, ибо тогда нижняя будет давать больше воды, а верхняя — меньше».

При соблюдении этого правила в трубе в 2 квинарии расход воды будет в два раза больше, чем в трубе в 1 квинарию, согласно формуле $Q = A\sqrt{2gh}$ при условии, что вода свободно вытекает из трубы, а потерями скорости от трения на коротких участках можно пренебречь.

Нет никаких сомнений в том, что принцип измерения расхода воды, разработанный Фронтином, широко применялся в период Римской цивилизации. Только лишь Герон нашел правильное решение задачи измерения расхода, но, к сожалению, оно осталось без внимания.

Акведуки Рима

В течение почти четырех с половиной веков после основания города римляне пользовались водой непосредственно из Тибра или из источников и колодцев. Первый акведук построил Аппий Клавдий Красс [4], государственный деятель, финансист и даже поэт, которому принадлежит заслуга строительства в 312 г. до н. э. Аппиевой дороги*. Как следует из главы 1, акведуки были известны до римлян, но даже у современных инженеров вызывают восхищение сохранившиеся до нашего времени развалины великолепных сооружений римского водопровода с обширной системой шлюзов и затворов и многомильными каналами [5].

В V в. н. э. Рутил Наматиан сказал: «Зачем мне говорить об акведуках, поддерживаемых высокими арками, которые Ирида [Радуга] лишь с трудом могла бы превзойти? Их можно сравнить с горами, вознесшимися к звездам... В их стены заключены отведенные из своих русел реки. Просторные общественные бани поглощают целые водоемы». Позднее Фабретти назвал их «первыми плодами прозорливости и величия Рима». Фронтину, влюбленному в свои водопроводы, легко простить такое высказывание: «Кто сравнит бесполезные пирамиды или никому не нужные, хотя и преславленные творения греков, с акведуками, этими сооружениями, столь необходимыми людям?»

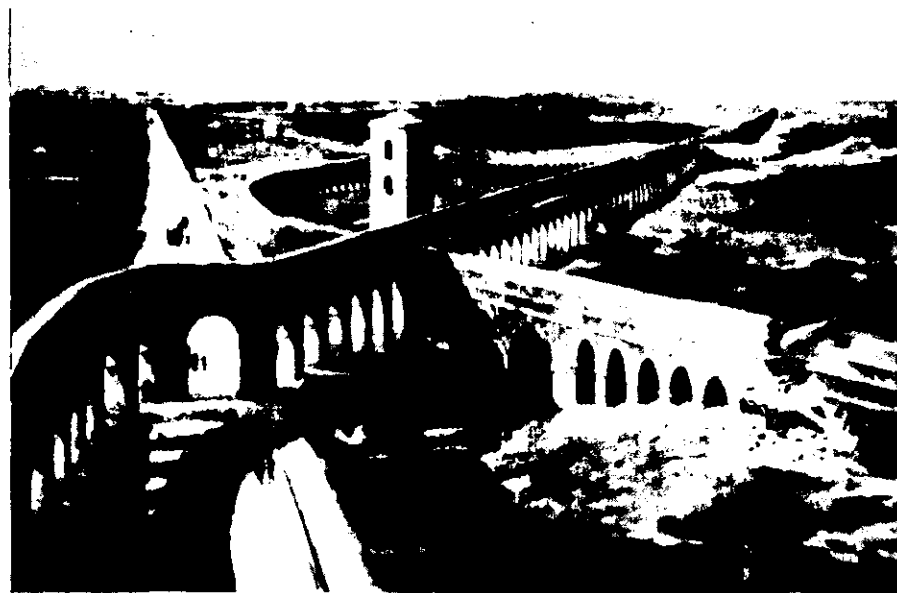


Рис. 14. Акведуки Рима (реконструкция по картине Зено Димера в мюнхенском «Дойчес Музеум»). На переднем плане слева — акведуки Анио Новус и Клавдия, объединенные в одном сооружении; справа — акведуки Марция, Тетула и Юлия, тоже проходящие один над другим по одной аркаде (виден их разрез).

На рис. 14 воспроизведена известная картина Зено Димера «Акведуки древнего Рима», изображающая акведуки Анио Новус, Клавдия, Марция, Тепула и Юлия.

Вклад Сенеки в гидрологию

Луций Анней Сенека (4 до н. э. — 65 н. э.) родился в Испании, но еще ребенком отец привез его в Рим. На долю Сенеки выпала незавидная участь быть связанным с сумасшедшим императором Калигулой (37—41 н. э.), со слабоумным императором Клавдием (41—54 н. э.) и императором-извергом Нероном (54—68 н. э.). Он дорого заплатил за то, что жил в столь неспокойное время. Бывший ученик Сенеки — Нерон — приговорил его к смерти и любезно предложил самому выбрать способ насильственного самоубийства.

Философ-стоик известен в основном своими сочинениями на темы морали и трагедиями, но для гидрологов наибольший интерес представляет его работа «Вопросы природы» («*Quaestiones naturales*»), написанная вскоре после 63 г. н. э. Этот труд состоит из семи книг, в которых рассматриваются проблемы астрономии, физики, физической географии и метеорологии. Сенека часто обращается к греческим источникам — в основном к Аристотелю, Теофрасту, Посидонию и Асклепидоту. К сожалению,



Бронзовый бюст Сенеки, найденный в Геркулануме (Национальный музей в Неаполе).

метеорологические сочинения Посидония и Асклепидота не сохранились, и до нас дошел только конспект на четырех страницах, сделанный неизвестным арабом. В истории развития науки имеется большой пробел между Аристотелем и Теофрастом, с одной стороны, и Сенекой с другой, но еще больший — между Сенекой и началом Ренессанса.

В книге IV «Вопросов природы» Сенека излагает довольно поверхностные мысли о происхождении снега и града. Он «берет на себя смелость предположить», что град образуется на небе точно так же, как лед на земле, с той разницей, что в первом случае замерзает целое облако. Но далее Сенека, по его словам, решает последовать примеру летописцев, которые, наврав с три короба и боясь взять на себя ответственность за то или иное утверждение, ссылаются на авторитетный первоисточник. Поэтому, продолжает Сенека, если друзья сомневаются в правдивости его слов о происхождении снега и града, они могут обратиться к Посидонию, который рассказывает об этом явлении с такой уверенностью, как если бы сам при нем присутствовал. Град падает из дождевой тучи, только что ставшей жидкой. Градины — круглые, потому что всякая капля стремится к шарообразной форме, и если даже в начале падения они имеют неправильные очертания, то выравниваются по мере того, как, вращаясь, летят сквозь слой плотного воздуха. Снежинки, напротив, лишены округлости, ибо они не так тверды и падают с меньшей высоты. Град — это лед, находящийся в воздухе во взвешенном состоянии, а снег — иней в таком же состоянии. Затем Сенека переходит к вопросу о распределении плотности и температуры в атмосфере.

Теории Сенеки и некоторых его современников о происхождении рек и источников рассмотрены в следующем разделе, а его работы о причинах разливов Нила — в главе 6.

Круговорот воды

Римский поэт и философ Тит Лукреций Кар (первая половина последнего века до н. э., возможно 96—55 до н. э.) написал дидактическую поэму «О природе вещей» («*De rerum natura*»). Это единственное его произведение, дошедшее до нас. Лукреций считал, что влага подымается отовсюду, особенно с по-

верхности моря. Когда сильный ветер гонит облака над морской бездной, они поглощают много влаги, подобно тому как впитывает росу «шерстяное руно». Поднявшиеся пары сгущаются, но затем отдают влагу. На то есть две причины:

... друг с другом сшибает их вместе
Ветер, и множество туч, собираясь большою толпою,
Давит их, сверху гнетя, и дождем заставляет излиться.
Кроме того, когда тучи на небе редуют от ветра
Или расходятся врозь, пораженные солнечным жаром,
То начинает из них моросить и накрапывать дождик.
Словно бы топится воск над огнем и стекает по каплям¹.

Этот процесс составляет только первую половину гидрологического цикла. О второй половине Лукреций говорит в связи с морем, размеры которого остаются неизменными, несмотря на то что реки, источники, ливневые дожди и подземные потоки постоянно вливают в него большое количество воды. Но «по сравнению с объемами моря» вся эта вода не более как капля. К тому же «много воды испаряется солнечным жаром» и ветрами, пронесшимися над его поверхностью, ибо, как уже говорилось, облака впитывают много влаги. Поскольку земля пористая, много морской воды просачивается в земные недра:

Морская вода проникает сквозь почву, и жидкость
В землю сочится назад, стекая к источникам водным,
После чего по земле возвращается пресным потоком
Там, где дорогу для воли она влажной пятою пробила.

Таким образом Лукреций считал, что причина образования рек не осадки, а инфильтрация морской воды. Его теория происхождения Нила и его разливов будет рассмотрена в главе 6.

Судя по дошедшим до нашего времени письменным памятникам античности, Витрувий первым дал плювиальное (дождевое) объяснение гидрологического цикла, хотя, как указывалось в главе 4, он скорее всего заимствовал эту идею из греческих источников — у Теофраста или Посидония, или у них обоих.

В третьей книге «Вопросов природы» Сенека говорит о различных формах природных вод, главным образом о реках и источниках, в том числе и подземных. Он делит воды на две категории — стоячие, как в озерах, и текучие, как в реках и источниках. Вода стоит на месте, если водоем расположен на

¹ Цитируется по изданию: Лукреций. «О природе вещей». М., 1956, стр. 220.— *Прим. перев.*

плоской поверхности, и течет, если он находится на склоне. Но почему же море не расширяется, хотя реки постоянно приносят ему воду? И почему земля, все время отдающая свои воды, все же не становится безводной? Прежде чем дать свое толкование этих явлений, Сенека изложил взгляды некоторых других ученых. Поскольку гипотеза Лукреция, по его мнению, даже не заслуживает комментариев, он о ней только упоминает и переходит к разбору теории, согласно которой вода в реках происходит от дождей. Эту теорию Сенека подвергает резкой критике. С полным знанием дела, словно он всю жизнь прилежно копал землю на своем винограднике, Сенека утверждает, что даже самый сильный ливень не может проникнуть в землю глубже, чем на 10 футов. При сухой земле всю влагу поглощает верхний слой, и ничто не просачивается вглубь; когда же земля насыщена влагой, дождевая вода стекает в русла рек. Уровень рек не повышается после первого дождя, так как приносимую им влагу поглощает иссохшаяся земля.

Далее Сенека задает вопрос: каким образом возникают реки в горах и скалах? Ведь с голых утесов, лишенных впитывающей воду земляного покрова, дождевая вода должна стекать. При такой постановке вопроса ответить на него, конечно, невозможно. Будь философ понаблюдательнее, он заметил бы, что источники стекают только с вершин, покрытых достаточным почвенным слоем. Наконец, если дождевая вода не проникает в землю глубже, чем на 10 футов, то как объяснить существование обильных источников на глубине 200—300 футов даже в самых засушливых местностях?

Опровергнув две основные теории круговорота воды, Сенека излагает свои суждения на этот счет, сложившиеся, несомненно, под влиянием учения Аристотеля. Он приводит три объяснения происхождения грунтовых вод:

- 1) земля сама содержит влагу, выжимаемую на поверхность;
- 2) под влиянием действующих под землей сил вечного мрака, постоянного холода и чудовищного давления содержащийся в земле воздух превращается в воду;
- 3) в силу закона изменяемости элементов земля на глубине и сама превращается в воду.

Тому, кто не может понять, откуда берется в реках такое количество пресной воды, Сенека напоминает, как велики природные ресурсы, из которых реки черпают свои запасы:

«Вас, конечно, может удивить, что хотя ветер разгоняет атмосферу во все стороны, запасы воздуха не истощаются и он день и ночь притекает в увеличивающихся количествах. Причем, обратите внимание, ветер не ограничивается, как реки, определенным руслом, а бурными порывами мчится по просторам небес. Еще поразительнее, что после продолжительного морского прибоя все еще остаются волны, набегающие на берег».

На вопрос о том, откуда происходит вода, можно ответить аналогичным вопросом: а откуда происходит воздух или земля? В природе существуют четыре элемента, и задаваться вопросом о происхождении воды бесполезно; она лишь одна из четырех составных частей природы.

Далее Сенека объясняет, почему некоторые потоки иногда иссякают. Причина просто в том, что их течение преграждают камни и пласты земли, сдвинутые со своего места землетрясением. Сенека утверждал, что земля содержит не только подземные водяные жилы, но также подземные реки, огромные подземные озера и скрытое от людей море, откуда текущие по поверхности реки получают запасы воды. Кроме того, как известно, на поверхности земли существуют бездонные стоячие водоемы, которые служат постоянными источниками больших рек.

Мнение Сенеки по поводу истоков Нила будет рассмотрено наряду с суждениями других мыслителей в главе 6.

К числу величайших трудов, унаследованных нами от римлян, принадлежит «Естественная история» Гая Плиния Старшего (23—79 н. э.). Этот плодовитый писатель проявлял неутомимую любознательность к явлениям природы. Она стоила Плинию жизни: он погиб, наблюдая извержение Везувия. Следует заметить, что работам Лукреция, Сенеки и Плиния по вопросам метеорологии присущи общие черты, свидетельствующие о том, что они, вероятно, пользовались одинаковыми первоисточниками.

Плиний был уверен, что причина града и снега — замерзание дождя. При более сильном замерзании образуется град, при более слабом — снег. Точно так же иней — это замерзшая роса. О происхождении рек и источников Плиний пишет:

«Земля открывает свои недра и вода пропитывает всю землю, изнутри, снаружи, сверху; ее жилы расходятся во всех направлениях, как связующие звенья, и достигают даже самых возвышенных гор; там, подгоняемая воздухом и выталкиваемая тяжестью земли, вода с силой выплескивается, как из трубы...»

Измерение атмосферных осадков в Палестине

После Каутильи следующее упоминание об измерении количества атмосферных осадков появилось в Палестине, в религиозной книге «Мишна». В этой книге, отражающей культурную и религиозную жизнь палестинских евреев на протяжении четырех веков, примерно с первой половины II в. до н. э. и до конца II в. н. э., упоминается, что в Палестине осадки измерялись в течение всего года, который был разделен на три периода [7]:

«Период ранних дождей, которые смачивают землю и делают ее пригодной для восприятия семян, а следовательно, служат сигналом для начала пахоты. Период обильных зимних дождей, которые пропитывают землю, наполняют водохранилища и водоемы, питают источники. Наконец, период поздних или весенних дождей, которые дают зерну налиться и помогают пшенице и ячменю вынести сухую жару в начале лета. Без этих дождей урожай не вызревает. Как правило, осенние или ранние дожди продолжаются с начала дождливого сезона в октябре — ноябре до середины декабря, зимние дожди — с середины декабря до середины или конца марта, а поздние или весенние дожди с середины марта до окончания сезона дождей в апреле или мае».

В эти периоды было зарегистрировано такое количество атмосферных осадков:

Период ранних дождей	— 1 тефах (около 9 см)
Второй период	— 2 тефаха
Третий период	— 3 тефаха
<hr/>	
Всего за год	— 6 тефахов = 54 см

Невозможно выяснить, относятся ли эти данные к отдельному году или это средние величины за ряд лет. В «Мишне» также указано, что осадки проникали на глубину 1 тефаха на бесплодной почве, на 2 тефаха — на средней почве и на 3 тефаха — на пригодной для земледелия возделанной почве. По-видимому, как и в Индии, измерения атмосферных осадков производились прежде всего потому, что это было важно для сельского хозяй-

ства. Начало сезона дождей обычно ознаменовывали молитвами. Молитвами же отмечали выпадение определенного количества осадков (когда наполнялся сосуд объемом 0,137 литра).

Интересно отметить, что количество осадков, считавшееся в то время необходимым для хорошего урожая, почти совпадает с данными, полученными Т. Чаплином в Иерусалиме в XIX в.

Заключение

Главным достижением Римской цивилизации в области гидрологии несомненно был принцип измерения расхода воды, разработанный Героном, но, поскольку Герон намного опередил свое время, его идеи, естественно, почти не привлекли внимания. Витрувий и Фронтин считали, что величина расхода воды в естественном потоке или в трубе равняется площади поперечного сечения потока, независимо от скорости течения. Потребовалось еще семнадцать веков, чтобы отец и сын Иоганн и Даниил Бернулли вывели в 1738 г. независимо друг от друга математическое выражение скорости течения воды: $V = \sqrt{2gh}$. Римляне знали, что площадь сечения трубы составляет $\frac{1}{4}D^2$, но, по-видимому, они еще не имели представления о кубических мерах, а следовательно, и о единицах измерения расхода воды.

Римляне были народом практиков. Фронтин, по-видимому, понимал, что его гипотеза, приравнивающая величину расхода воды к площади поперечного сечения потока, не совсем верна. Такое впечатление создается при чтении его работы «О водоснабжении Рима», где он в расплывчатых выражениях говорит о влиянии скорости воды, ее напора, сопротивления русла потока и потерь в результате трения, хотя не имеет четкого представления ни об одном из этих явлений. Руководствуясь чисто эмпирическими принципами, не зная законов физики, римляне построили грандиозные гидротехнические сооружения и по праву гордились ими. Их водопроводы действовали и превосходно выполняли свое предназначение.

О происхождении рек и источников довольно верную гипотезу выдвинул Витрувий. Весьма возможно, что первым автором плювиальной концепции был Теофраст, но при отсутствии достоверных данных мы можем только предполагать это.

Большое значение имело измерение количества атмосферных осадков, производившееся в Палестине для нужд сельского хозяйства. По-видимому, между измерениями осадков в Индии в IV в. до н. э. и измерениями в Палестине I в. н. э. нет никакой связи. Эти измерения велись независимо друг от друга, носили изолированный характер и продолжались к тому же недолго.

Введение «Египет возник недавно и является даром реки [Нила]», — говорит Геродот, отец истории. Многие философы древности утверждали, что Нил превосходит все остальные реки, что это единственная река в своем роде. В то время очень немногие природные явления вызывали такие споры, как ежегодные разливы Нила. Греческий географ и историк Страбон говорил о Ниле, что «эта река была и является сейчас наиболее известной и наиболее удивительной достопримечательностью в Египте и, несомненно, самой достойной упоминания и увековечивания в истории (то же самое относится и к ее разливу, и к рукавам при устье)».

Греческие философы, которые были не в состоянии постигнуть причину регулярных разливов Нила, даже считали, что Нил был сотворен одновременно со всей Вселенной и только этим объясняются его особенности. Им казалось, что такая большая и замечательная река не может иметь то же происхождение, что и другие реки, и находили для него совсем иные объяснения [1]. В этой главе рассматриваются различные теории об истоках и разливах Нила, ставшего поистине легендарной рекой.

Этезийские ветры Фалеса

До нас не дошли работы Фалеса Милетского, первого из семи мудрецов древней Греции. Мы знаем о нем только из трудов других философов (см. главу 2). Фалес предполагал, что этезийские ветры*, дующие против течения Нила, не дают реке изливаться в море. Геродот

отрицал эту теорию на том основании, что разливы Нила случаются даже в те годы, когда этезийских ветров не бывает. К тому же, рассуждал Геродот, если все дело в этезийских ветрах, то почему же разливам не подвержены реки Сирии и Ливии, также текущие в направлении, противоположном ветрам и к тому же имеющие более слабое течение? Интересно отметить, что Геродот различал, скорее всего первым из ученых, течения слабые и сильные.

Сенека резко критиковал теорию Фалеса и доказательства в ее пользу, выдвинутые Евфименом из Массилли. По-видимому, Евфимен совершил плавание вниз по Нилу, достиг, по его мнению, Атлантического океана и там имел возможность убедиться в том, что повышение уровня воды в Ниле совпадает с этезийскими ветрами. (Поскольку Евфимен жил, по всей вероятности, в конце VI в. до н. э., он, несомненно, не смог бы вразумительно ответить на вопрос о том, каким образом Нил связан с Атлантическим океаном.)

Сенека нашел множество доводов против гипотезы Фалеса. Один из них состоял в том, что подъем воды в Ниле вовсе не совпадает с порывами ветра: ветер возникает до разлива реки и дует еще долго после того, как вода спадает. Да и высота разлива не зависит от силы ветра. «Далее, этезийские ветры бьются о берега Египта, и Нил попадает им в пасть; а если бы они были причиной наводнений, река текла бы из той же местности, откуда дуют эти ветры. Кроме того, если бы река вытекала из моря, в ней была бы чистая вода темно-синего цвета, а не мутная, как сейчас». Из последнего аргумента Сенеки можно сделать вывод, что философ не вполне понимал теорию Фалеса. Он, по-видимому, не придавал большого значения доказательству, приведенному Евфименом, ибо «в те дни можно было сочинять небывлицы; когда мало что известно о чужих краях, нетрудно пичкать нас всякими вымыслами».

Гипотеза Океана

Древние греческие географы были уверены, что землю опоясывает быстрый могучий поток, Океан. Он находится настолько далеко от моря, что воды их не смешиваются. У него нет ни начала, ни конца. Из него вышли все звезды, за исключением созвездия Большой Медведицы, и в него же они в конце концов погрузятся. По свидетельству Геродота, многие мыслители древности полагали, что Нил вытекает из Океана и потому так непохож на другие реки.

Чрезвычайно трудно понять, как возникла теория Океана. Гомер говорит о нем и в «Одиссее», и в «Илиаде», мешая географию с мифологией и тем еще более усложняя проблему. Легенда об Океане — прелестная история. В ней рассказывается о титане Океане, сыне Урана (неба) и Геи (земли), — одном из творцов мира. Океан считался очень могущественным богом, уступавшим в своем всемогуществе только Зевсу. Он женился на своей сестре Тефии, которая произвела на свет три тысячи рек и столько же океанид (морских нимф) — поистине замечательное потомство! Так Океан стал отцом всех морей, рек и источников.

Тающие снега Анаксагора

Анаксагор из Клазомен поселился в Афинах сразу же после Персидских войн. По его мнению, разливы Нила происходят тогда, когда в горах Ливии, где берет начало великая река, тают снега. Это объяснение разумно, но не совсем точно. Тем не менее точку зрения Анаксагора разделяли Эсхил, Софокл и Эврипид. Только Геродот решительно отвергал теорию Анаксагора, считая, что она «положительно дальше всех отстоит от истины». В доказательство этого Геродот ссылался на то, что со стороны Ливии дуют знойные ветры. К тому же после снегопада в течение пяти дней должны выпадать дожди, а раз в Ливии не бывает ни дождей, ни морозов, то откуда же там может появиться снег? Ласточки и коршуны живут в Ливии круглый год, туда улетают журавли, чтобы спастись от скифских холодов. Все это доказывает, что Анаксагор неправ. Хотя Геродот ошибался, нельзя не отдать должное логике его мышления.

Сенека тоже писал, что Ливия очень жаркая страна. Там плавится серебро, а троглодиты (жители пещер), спасаясь от жары, вынуждены строить себе пристанища под землей. В горах Эфиопии действительно есть снег, но, будь он причиной наводнений Нила, они случались бы в конце весны или в начале лета — так ведут себя реки, берущие начало в Альпах, в горах Фракии, на Кавказе, где снег выпадает часто. Свежий рыхлый снег тает быстро. Снег же, выпавший давно, слежавшийся, поддается таянию медленнее. Поэтому в начале лета поток, стекаю-

щий с гор, должен быть гораздо мощнее, чем несколько месяцев спустя. Между тем вода в Ниле стоит одинаково высоко целых четыре месяца, а значит, теория Анаксагора неверна.

Гипотеза Геродота

Иониец Геродот, уверенный, что ему подвластны все области знания, полагал, что знает истоки всех рек, кроме Борисфена (нынешнего Днепра) и Нила. «Никто из египтян, ливийцев или эллинов... не мог ничего сообщить мне об этом», — утешал он себя.



Рис. 15. Хапи, божество Нила (Британский музей, Лондон).

Геродот хотел выяснить, почему: 1) уровень воды в Ниле ежегодно повышается; 2) Нил ведет себя совсем не так, как остальные реки; 3) он не способен создавать прохладный ветерок. Нельзя не восхищаться любознательностью историка, заставлявшей его пытаться проникнуть в причины этих физических странностей. По-видимому, египтяне не высказывали никаких гипотез по поводу особенностей Нила и, что еще важнее, даже не пытались найти им объяснение. Они довольствовались тем, что поклонялись божеству Нила — Хапи, и были согласны принимать все и вся на веру. Хапи изображали бородатым толстяком с женской грудью, из которой изливалась животворная вода (рис. 15). Он был одет как лодочник и рыбак, голову его венчала корона из листьев лотоса. Египтяне верили, что у Нила две ипостаси: одна — это Нил египетский, земной, другая — Нил небесный, который предстает людям сверкающим потоком (Млечным путем). Геродот отвергал теорию Океана, этезийских ветров или таяния снегов как причины разливов Нила. Он даже говорил, что греки выдвигают эти гипотезы с одной-единственной целью — прославиться своими знаниями и проницательностью. Он предложил свою гипотезу, надо сказать, поразительную:

«На своем пути через Верхнюю Ливию солнце производит вот какое действие: так как при всегда ясном небе земля там нагрета и нет холодных ветров, то действие [солнца] там такое же, как в летнее время [у нас], когда оно проходит посредине неба. Ведь солнце притягивает к себе воду и затем снова отталкивает ее вверх, где ее подхватывают ветры, рассеивают и заставляют испаряться. Поэтому совершенно естественно, что ветры, дующие из этой страны (именно, южный и юго-западный), больше всего приносят дождей... Когда же зима подходит к концу, солнце снова возвращается на середину неба и с этих пор уже равномерно притягивает к себе воду из всех рек. До того времени [зимою] благодаря обильному притоку дождевой воды реки полноводны, так как в стране выпадают обильные дожди и она испещрена [полными воды] оврагами. Летом же, когда дождей больше нет и солнце притягивает воду, реки мелеют. Нил же, не питаемый дождями... — единственная из всех рек, у которой, естественно, зимой гораздо меньше воды (сравнительно с нормальным уровнем ее летом). Ведь

летом солнце притягивает к себе нильские воды в такой же мере, как и воды других рек, тогда как зимой только один Нил подвергается действию солнечных лучей».¹

Геродот утверждал, что в верховьях Нил течет в том же направлении, что и Дунай, — с запада на восток. Кроме того, он принимал за Нил Нигер. Но, наверное, это естественные заблуждения, недаром они пережили историка на целых 2200 лет.

Евнипид из Хиоса

Евнипид из Хиоса, деятельность которого приходится на третью четверть V в. до н. э., был современником Гиппократом. Его теория пользовалась в древности наибольшей популярностью. Философ утверждал, что зимой жар, сохраняющийся в земле, иссушает все подземные источники и реки продолжают течь только благодаря атмосферным осадкам. В долине Нила дождей не бывает, поэтому уровень воды в реке постепенно падает. Подземный жар также нагревает воду в пещерах и глубоких колодцах. Но когда приближается лето, жар из земли уходит, и тогда вода притекает обратно в Нил и вызывает его разлив.

Диоген из Апполонии

Диоген из Апполонии, греческий философ-эkleктик, живший в V в. до н. э., интересовался физиологией и космологией. Ему удалось примирить гипотезы Анаксимена Милетского и Анаксагора из Клазомен. Диоген утверждал, что потери воды, вызванные тем, что солнце притягивает влагу, уравниваются благодаря тому, что земля получает дополнительные ресурсы воды — отчасти из моря, отчасти из другого источника. Летом южная часть земли иссушается, так как она наиболее подвержена влиянию солнечного жара. Внутри земля перерезана многочисленными скрытыми каналами, связанными между собой, и по ним вода переходит из влажных зон в засушливые, ибо в природе сухое и влажное не может сосуществовать рядом. «Подобно тому, как в лампе масло стекает туда, где оно выгорает, вода устремляется к месту, к которому ее влечет всемогущий жар горячей земли». Привлекаемая таким образом вода поступает из обильнейшего источника, находящегося в северных

¹ Цитируется по изданию: Геродот. История. М., 1972, стр. 87. — *Прим. перев.*

областях, где царит вечная зима. Следовательно, существует поток воды, идущий только в одном направлении. Если бы не этот процесс, вся земля давно-давно высохла бы или, наоборот, была бы затоплена. Поэтому же, считал Диоген, существует постоянное быстрое течение из Черного моря в противоположность чередующимся по направлению приливным и отливным течениям в других морях.

Сенека решительно отвергал гипотезу Диогена:

«Итак, следует спросить Диогена: если все источники связаны между собой, то почему же летом не все реки полноводны? Может быть, он ответит мне, что Египет больше нагревается солнцем и потому уровень Нила подымается выше, благодаря дополнительному количеству получаемой воды; но ведь и в других странах реки тоже получают некое дополнительное количество воды. Другой вопрос: если каждая страна притягивает влагу из других областей и чем в ней жарче, тем больше влаги, то почему же в некоторых частях света влаги нет вообще? И еще один вопрос: если воды Нила поступают из моря, почему же вода в нем пресная? Ни в одной другой реке вода не имеет такого пресного вкуса».

Гипотеза Демокрита: снег и этезийские ветры

Возможно, Демокрит из Абдеры достиг в физике больших успехов, чем остальные философы древности. «Я путешествовал больше, — писал он, — чем любой из моих современников, всюду расспрашивал о самых отвлеченных предметах, видел много разных стран с различным климатом, беседовал со многими учеными людьми» [2]. Демокрит считал, что снег на севере тает и улетучивается во время летнего солнцестояния, образуя пары и облака. Этезийские ветры гонят облака на юг и к Египту, а от этого возникают сильные ливни, заполняющие водой озера и Нил.

Теория Демокрита интересна по двум причинам. В ней содержится намек на то, что Нил берет начало в центрально-африканских озерах и что они питаются дождями. Но еще важнее

его гипотеза о движении ливней: ведь вплоть до XVIII в. было распространено убеждение, что ливни не передвигаются с одного места на другое.

От Эфора до Страбона

Греческий историк Эфор (400—330 до н. э.) считал, что «почва в Египте, состоящая из речного ила, пориста как пемза и покрыта длинными сплошными трещинами, через которые впитывает огромное количество влаги. Зимой она ее удерживает, а летом выделяет во все стороны, словно бы истекает струйками пота. Благодаря этому река [Нил] наполняется водой».

Аристотелева теория происхождения Нила вызывает ожесточенные споры среди современных исследователей. Сартон считает, что она могла появиться только после Эратосфена, Парч же утверждает, что она принадлежит самому Аристотелю или его неизвестному современнику. Суть этой теории заключается в том, что разливы в низовьях Нила вызваны сильными дождями, выпадающими весной и в начале лета в горах, где берут начало Голубой и Белый Нил.

Эратосфен (276—194 до н. э.), главный библиотекарь Александрии, составил довольно точную карту Нила до того пункта, где ныне находится Хартум. Эратосфен высказал предположение, что Нил берет начало в экваториальных озерах. Он недоумевал, зачем строить предположения о причинах разливов Нила, когда истоки Нила хорошо изучены и известно, что в их районе выпадают обильные дожди. Эратосфен упоминает, что до него точно такое же предположение выдвинул Аристотель.

Географ Страбон из Амазии считал Гомера источником всех знаний и кладезем премудрости, а Геродота высмеивал за пристрастие к небылицам. Страбон проследил высказывания многих философов о разливах Нила, вплоть до всеведущего «учителя» Гомера.

«Посидоний говорит, что Каллисфен считает летние дожди причиной разливов, хотя Каллисфен заимствовал эти утверждения у Аристотеля, Аристотель же — у Фрасиалка с острова Фасос [одного из древних физиков], а Фрасиалк — у кого-то другого, а этот последний — у Гомера, который называет Нил „бегущим с неба“».

Страбон цитирует другого философа, Неарха, утверждавшего, что разливы Нила и индийских рек вызваны одной причиной — летними дождями. Когда во время похода в северо-западную Индию Александр Македонский на берегу одной из рек

увидел крокодилов и египетские бобы, он решил, что у нее с Нилом общие истоки, и даже собирался отправить флот по этой реке в Египет. Вскоре он, по-видимому, передумал. Причину этого Страбон видит в чтении Гомера!

В средние века монах Бенедиктинского ордена австриец Энгельберт Адмонтансис написал комментарий к псевдоаристотелевскому трактату о разливах Нила.

От Лукреция до Беды Достопочтенного

Римский поэт Лукреций Кар в своей дидактической поэме «О природе вещей» пишет, что причиной некоторых странных явлений в природе могут быть разные обстоятельства. Искать им объяснения равносильно тому, чтобы, обнаружив труп, начать гадать, от чего умер человек: от яда, болезни, от стужи или же от меча... Одна из этих причин — истинная, но какая — никто не знает. Точно так же и с Нилом. Лукреций излагает точки зрения Фалеса, Анаксагора и Демокрита, а в конце приводит гипотезу, принадлежащую, вероятно, ему самому:

Или, быть может, песку огромные тучи наносят
В устье морская волна, затыкая его, когда море,
Вздутое ветром, песок глубоко в русло загоняет.
Этим теченью реки преграждается выход свободный,
И по наклону вода уменьшенному тише стремится¹.

Король Мавритании Юба II (умер в 20 г. н. э.), историк и археолог, написал работу «Лирика», которую цитировал Плиний. Юба возвратился к одной из старых теорий происхождения Нила, но несколько ее видоизменил. Он утверждал, что Нил берет начало в озере, находящемся в Западной Мавритании, недалеко от океана (рис. 16). На протяжении нескольких дней пути течет он под землей к такому же озеру в Цезарейской Мавритании, а затем, на протяжении еще двадцати дней пути (направление Юба не указывает), — к истокам Нигера на границе между Африкой и Эфиопией. Отсюда он под названием Астипус пересекает Эфиопию. Эта абсурдная теория имела много последователей. Не исключено, что именно она породила ошибочное, но

¹ Лукреций, стр. 226.— Прим. перев.

очень устойчивое представление о том, будто Нигер — рукав Нила. Жертвами этого заблуждения стали в той или иной мере выдающиеся мыслители Плиний, Мела, Витрувий, Страбон да и многие другие.

Сенека приводит в своем труде «Вопросы природы» мнения других философов о причинах разливов Нила. О его возражениях им уже говорилось выше. Но аргументация Сенеки обрывается столь внезапно, что остается предположить одно из двух: либо он ее не закончил, либо в тексте есть пропуск. Сенека склонен согласиться с древними мыслителями, утверждавшими, что некоторые реки были сотворены первоначально вместе со всей Вселенной и что только этим объясняются их особенности. Нил и Дунай, по его мнению, настолько необычны, что не могут иметь одинаковое с другими реками происхождение. К сожалению, Сенека не пытается объяснить регулярность разливов Нила, но сообщает, что император Нерон послал двух центурионов на поиски истоков реки. Посланцы шли вверх по течению, пока не достигли бескрайнего болота. Покрывавшая его густая растительность не дала им возможности продвигаться вперед ни пешком, ни в лодках. Здесь они обнаружили две скалы, из которых изливался огромный речной поток. Скорее всего Сенека предполагал, что воды Нила выходят из земли. Такая точка зрения вполне соответствует его гипотезе происхождения подземных вод (см. главу 5).

Римский ученый Плиний Старший из всех гипотез об истоках Нила считал наиболее вероятными гипотезы Фалеса и Демокрита.

После Плиния все гипотезы происхождения Нила собрал воедино Беда Достопочтенный, англосаксонский теолог и историк (674—735 н. э.).

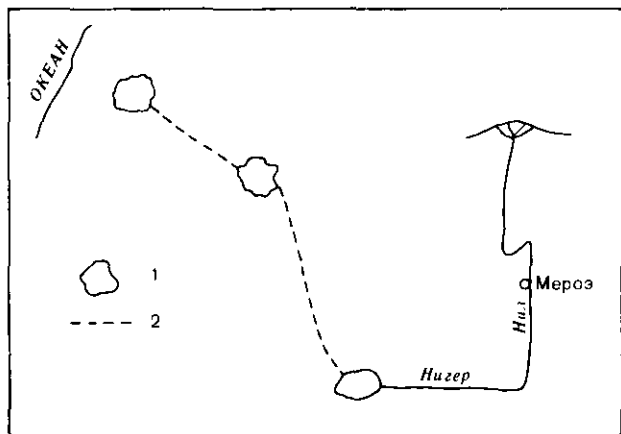


Рис. 16. Направление течения Нила согласно Юбе II, королю Мавритании.

1 — озера (верхнее озеро — с кровососами и рыбами, похожими на нильских); 2 — участки подземного течения Нила.

Леонардо да Винчи писал в XV в., что Нил берет начало в трех озерах Эфиопии, расположенных высоко в горах.

«Он образуется в Лунных горах из различных неизвестных источников; отсюда он попадает в эти озера, находящиеся высоко над сферой воды, на высоте примерно четырех тысяч браччий [то есть 1,3 мили], так что Нил через каждую милю опускается на браччию».

Заключение

В этой главе рассмотрены различные гипотезы древних философов об истоках Нила. Возможно, что именно его ежегодным разливом обязана своим появлением наука геометрия. Толчком к ее зарождению была необходимость после каждого разлива производить новые землемерные работы. Диадокх¹ писал:

«Египтянам приходится производить такие измерения, так как разливы Нила каждый раз уничтожают границы земельных участков. К тому же никого не удивит, что появление этой науки (геометрии) и других наук было вызвано необходимостью... Точно так же как арифметика появилась на свет у финикийцев, занимавшихся торговлей и посредническими операциями, так и геометрию открыли египтяне, по указанной выше причине».

Еще одна теория, касавшаяся ежегодных разливов Нила, была выдвинута в XVII в. В то время эта гипотеза, объяснявшая повышение уровня воды в Ниле брожением воды под действием селитры, имела, как ни странно, много сторонников. О ней речь пойдет ниже (в главе 9).

¹ Один из полководцев Александра Македонского. — Прим. ред.

Введение Александрия, бывшая в начале III в. н. э. центром учености того времени, являла собой причудливое смешение различных религий, сект и философских учений. Христианство, иудаизм и язычество никак не могли поладить между собой. Александрийская школа философии приходила в упадок, школы Платона и Аристотеля теряли своих приверженцев. Учения стоиков и эпикурейцев еще больше осложняли положение. Но разнородным элементам этой странной смеси была присуща одна общая черта — глубокое пренебрежение к науке.

Гидрология в раннем средневековье

По мере усиления христианской церкви уменьшалось стремление к исследованиям природы, да и возможность заниматься ими. Все отрасли знания, кроме теологии, остановились в своем развитии. Наука стала лишь средством подтверждения истин Священного писания. Христианство превратилось в предмет эсхатологии*, дух честного поиска истины постепенно исчез. Высшей функцией науки стала забота о спасении души, а высшей задачей философа — применение своих познаний в интересах теологии, для рабского согласования с откровениями христианской веры.

Исидор Севильский

На рубеже VI и VII вв., в то самое время, когда католическая церковь, поведшая решительное наступление на ересь

и язычество в Западной Европе, проникла во все области жизни, в Севилье жил испанский епископ и ученый Исидор (570—636). (Впоследствии он был причислен к лику святых и стал святым Исидором Севильским.)

Энциклопедический подход Исидора к науке дает нам право сравнивать его с Плинием. Правда, его двадцатитомные «Начала» («Этимологии») далеко не такой систематический труд, как «Естественная история» Плиния, но ведь при жизни Исидора наука и образование переживали глубочайший упадок, а могущественные деятели церкви, например папа римский Григорий, были убежденными противниками всякой светской науки. Принимая во внимание эти обстоятельства, «Начала» можно считать выдающимся трудом, недаром в течение последующего тысячелетия эта книга принадлежала к числу наиболее читаемых. Со всех точек зрения она явилась немаловажным достижением.

По мнению Исидора, в основе всех метеорологических явлений лежат четыре элемента. Подобно Аристотелю, он утверждал, что воздух превращается в воду, а вода — в воздух. Выпадению осадков он давал два различных объяснения:

«При сжатии воздуха образуются облака; при уплотнении облаков идет дождь; при замерзании облаков — снег; при неравномерном замерзании плотных облаков — град; при разрежении облака во все стороны наступает хорошая погода, ибо сжатый воздух становится облаком, а разреженное и растянувшееся облако — снова воздухом».

Дальше он пишет:

«Дожди (pluviae) называются так потому, что они текут, как если бы были потоками (fluviae). Они поднимаются в виде испарений с земли и с моря, возносятся вверх и оттуда каплями падают на землю, где их нагревает солнце и заставляет сгущаться сильный ветер».

Эти высказывания заставляют предполагать, что Исидор был знаком с метеорологическими трудами греческих и римских философов, хотя, может быть, и не по первоисточникам.

В главах 12 и 13 «Начал» Исидор говорит о воде и ее свойствах с явно теологической точки зрения. Он описывает воду как наиболее могущественный элемент.

«Вода умиротворяет небеса, удобряет землю, при испарении поглощает воздух, возносится вверх, нет большего чуда, чем вода, удерживающаяся на небесах».

Далее Исидор говорит о различных источниках и озерах мира, особенно об их чудодейственных и целебных свойствах. В последних главах он описывает океан и Средиземное море (это — первое письменное упоминание этого географического названия), заливы всех стран мира, течения и проливы, озера и водоемы, огромную подземную водную лучину, реки мира и, наконец, наводнения (библейские, разумеется), начиная от Ноя.

Под землей, утверждал Исидор, находится огромная бездна, где берут начало все источники и реки. Она не имеет дна, и все воды в конце концов возвращаются в нее по невидимым каналам. Это почти повторяет платоновскую концепцию о Тартаре, но скорее всего Исидор заимствовал ее из Библии, из книги Екклесиаста (гл. I, стих 7): «Все реки текут в море, но море не переполняется; к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь».

Постоянство уровня моря Исидор объяснял различными причинами:

«Во-первых, благодаря огромности моря в нем не ощущается приток воды; во-вторых, соленая вода поглощает притекающую пресную воду; или облака притягивают много воды, а ветры ее уносят и солнце частично высушивает; в-третьих, наконец, вода просачивается сквозь невидимые пустоты в земле, делает поворот и возвращается туда, откуда вытекают все реки и источники».

Беда Достопочтенный

Беда Достопочтенный (674—735), как и Исидор, был ревностным служителем церкви и интересовался наукой лишь постольку, поскольку она способствовала укреплению христианской веры. Беда первым из англосаксов начал писать о погоде, и иногда его называют основоположником метеорологии в Англии. Беда сам не производил наблюдений над явлениями природы и не занимался теорией, но он умел прекрасно компилировать и обобщать сведения, почерпнутые из античных источников. Его книга «О природе вещей» служила элементарным пособием по христианской космографии и астрономии для монахов. Он широко заимствовал материал из «Естественной истории» Плиния и даже списал оттуда целую главу, однако не только не скрывал этого, но и предлагал читателям обратиться к первоисточнику за дополнительными сведениями.

В гидрометеорологии Беда придерживался традиционных взглядов. Ветер, утверждал он, — это движущийся или приведенный в колебание воздух, а доказать это можно с помощью опахала. Гром происходит от разрыва облаков; град тает быстрее снега и падает чаще днем, чем ночью. Содержащаяся в море соль не притягивается лучами солнца, поэтому морская вода соленая, тогда как вода дождевая, речная и озерная — пресная. Но лучи солнца, недостаточно могущественные для того, чтобы притягивать морскую соль, в то же время способны останавливать движущиеся планеты! У Беды была своя гипотеза об истоках Нила, представлявшая собой сочетание идей Фалеса и Лукреция [1]. Он утверждал, что подгоняемые этезийскими ветрами морские волны приносят в устье Нила песок, который образует большие кучи, преграждающие путь воде. В результате уровень реки повышается [2].

Гидрометеорология

После Беды вплоть до великого итальянского художника Леонардо да Винчи в области гидрологии не появилось ни одного значительного исследователя, но это вовсе не означает, что интерес к гидрометеорологии был утрачен. По свидетельству Гельмана [3], в период между VII и XIV вв. появилось двадцать шесть работ, посвященных некоторым проблемам этой науки. Впрочем, работы эти представляли собой всего лишь бездарные переложения классических трудов. Исключение составляет, по-видимому, только энциклопедия, созданная в X в. в Басре тайным обществом «Чистые братья». Вот приведенное в ней туманное объяснение роли охлаждения в процессе выпадения осадков:

«При теплом воздухе эти испарения (подымающиеся с моря и с нагретой земли) возносятся на большую высоту, и облака располагаются ступенеобразно, как это можно наблюдать весной и осенью. Они громоздятся одно над другим, как если бы это были кучи чесаного хлопка. Но если сверху на них наступает идущий из зоны льда холод, пары сгущаются и превращаются в воду; затем их частицы уплотняются и становятся каплями, увеличиваются в весе и из верхней части облаков, пробивая их массу, падают

вниз. По пути маленькие капли соединяются и крупными каплями в виде дождя выходят из нижней части облака. При столкновении с холодом они, прежде чем достигнуть земли, превращаются в град. Поэтому капли, выходящие из верхней части облака, падают на землю в виде града, а те, что выходят из нижней части, — в виде дождя, смешанного с градом... Таким образом, нижняя граница ледяной стужи и высокие горы, окружающие море, ограничивают два восходящих потока испарений, из которых образуются облака и дождь; они рассеивают их и притягивают к себе, точно так же как в банях притягивают влагу стены и потолки».

В конце XII в. сочинения Аристотеля (в том числе «О метеорологических вопросах») снова стали доступны западному миру благодаря переводу на латынь, выполненному в Испании с арабских рукописей [4]. Метеорологические теории великого мыслителя опять обрели популярность среди ученых и в университетах, где их включили в дисциплину под названием «Метеоры». Снова ожил дух поиска, как это видно из вопросника, известного нам из рукописи шотландца Майкла Скотта (1175—1232):

«Скажи нам также, как это получается, что морская вода пресная, хотя она выходит из живого моря? А раз уж речь зашла о пресных водах, то объясни, кстати, почему они постоянно бьют из-под земли... где находятся их источник, и почему одни воды пресные и свежие, другие — прозрачные, третьи — мутные, четвертые — загрязненные; все эти явления сильно нас удивляют, ибо известно, что все текущие воды выходят из моря и в него же возвращаются. Поэтому нам хотелось бы знать, есть ли такое место, где находится только пресная вода, и такое, где есть только соленая, или же и та и другая помещаются вместе... и каким образом текущие воды во всех частях мира бесконечно текут из своего сверхобильного источника, и хотя они текут обильно, их не становится больше, они не переходят обычной меры, а составляют постоянный и неизменный или почти неизменный поток».

Несмотря на обещание Скотта ответить на все эти вопросы, они оставались без ответа (вернее, без правильного ответа) еще полтысячи лет. В XIII в. Альберт Магнус (1206—1280) написал два знаменитых трактата — «О метеорах» и «О свойствах воздуха», основывавшихся на принципах Аристотеля. Тогда же или чуть позднее Венсан де Бове во Франции, Томас де Кантемпр

в Бельгии, Ристоро д'Ареццо в Италии и Варфоломей Англикус в Англии выступили с работами по проблемам физики, также излагавшими в основном идеи Аристотеля. Все эти работы носили одинаковое, но очень подходящее название — «О природе вещей». Первая книга по метеорологии, написанная на английском языке, вышла в свет, очевидно, в 1481 г. Она называлась «Зеркало мира» и представляла собой английский вариант трактата XIII в. «Образ мира», переведенного с французского языка на английский «простолоудином Вильмом Какстоном». В этой книге, переизданной в 1912 г. [5], говорится об облаках, дожде, снеге, морозе, граде, бурях, круговороте воды и солености моря — то есть о том же, о чем так много писали греки, римляне и средневековые авторы.

Итальянец Леон Баттиста Альберти (1404—1472), по отзывам современников, «достиг такого успеха в науках, что превзошел всех великих людей своего времени, прославившихся ученостью». Книга X его трактата «Десять книг об архитектуре» в основном посвящена воде и напоминает восьмую книгу одноименного труда Витрувия. Альберти хотя и находился под сильным влиянием Витрувия, но был образованнее своего римского предшественника. Говоря о свойствах воды, он пришел к такому выводу:

«Не следует упускать из виду то, что мы видим собственными глазами; что вода по природе своей стремится вниз; что она не выносит присутствия воздуха где-нибудь под ней; что ее существу ненавистно смешение с каким-либо веществом, которое легче или тяжелее ее; что она стремится целиком заполнить все углубления, по которым течет; что чем больше вы стараетесь оказать на нее давление, тем больше она сопротивляется; что она никогда не успокаивается, пока не достигает покоя, к которому стремится, а достигнув места, где может находиться в спокойном состоянии, довольствуется самой собой, отвергая возможность смешиваться с чем бы то ни было; что, наконец, поверхность воды всегда абсолютно ровная».

Что касается происхождения рек и источников, то Альберти, изложив все имеющиеся гипотезы, отказался решать, какая из них правильная, мотивируя это тем, что «среди авторов столько

расхождений и так много соображений приходит на ум, когда думаешь об этом». Но, добавляет он, если кто подумает, что реки образуются из дождевой воды, «он не слишком ошибется в своем предположении». У Альберти было некоторое представление об уровне подземных вод. Он, например, утверждал, что при рытье колодца вода будет обнаружена лишь тогда, когда колодец достигнет уровня поверхности воды в ближайшей реке.

Дождемеры в Китае и Корее

В Китае проблема разлива рек и каналов имела огромное значение, поэтому неудивительно, что китайцы издавна применяли дождемеры, во всяком случае в 1247 г. они уже были им известны.

В математическом трактате «Девять отделов математики» («Шушу цзю-чжан»), написанном Цинь Цзю-мао, рассматриваются некоторые вопросы, касающиеся формы дождемеров. Описываемый в трактате прибор представлял собой сосуд в форме конуса или бочонка. Такие дождемеры были установлены в главных городах каждой провинции и области. В трактате также дано описание снегомера — большой бамбуковой корзины, устанавливаемой на склонах горных перевалов и на возвышенностях. По-видимому, эти снегомеры — первые в истории метеорологии.

Цинь Цзю-шао пишет также о способе определения среднего количества атмосферных осадков на определенной площади по наблюдениям в одной точке.

В Корее, где рис можно выращивать только в период регулярных дождей, практика измерения атмосферных осадков, заимствованная, очевидно, из Китая, в XV в. распространилась повсеместно. Это естественно, так как вся экономика страны зиждилась на урожае риса. Недаром корейцы еще с глубокой древности возносили молитвы богам рек и гор о ниспослании им дождя.

Первое упоминание о дождемерах относится к 1441 г., ко времени правления Седжона из династии Ли — золотому веку корейской цивилизации. Впоследствии упоминания о них часто встречаются в корейских хрониках, так как дождемеры такого типа (рис. 17) применялись по всей Корее до 1907 г. Самая ранняя из записей гласит:

«В двадцать четвертый год своего правления Седжон приказал изготовить из бронзы прибор для измерения дождя. Он представлял собой сосуд глубиной в 1 шек 5 сен [т. е. около 30 см], имевший в поперечнике 7 сен [около 15 см]. Прибор был установлен в обсерватории, и ее служа-

щие измеряли глубину слоя осадков при каждом выпадении дождя. Результаты измерений докладывали правителю. Подобные приборы были распределены по провинциям и областям и данные наблюдений сообщали двору правителя».

Через 228 лет после этого в анналах по истории Кореи находим следующее упоминание о дождемерах:

«На сорок шестом году своего правления [т. е. в 1770 г.] правитель Ёнджо, следуя древнему порядку, заведенному

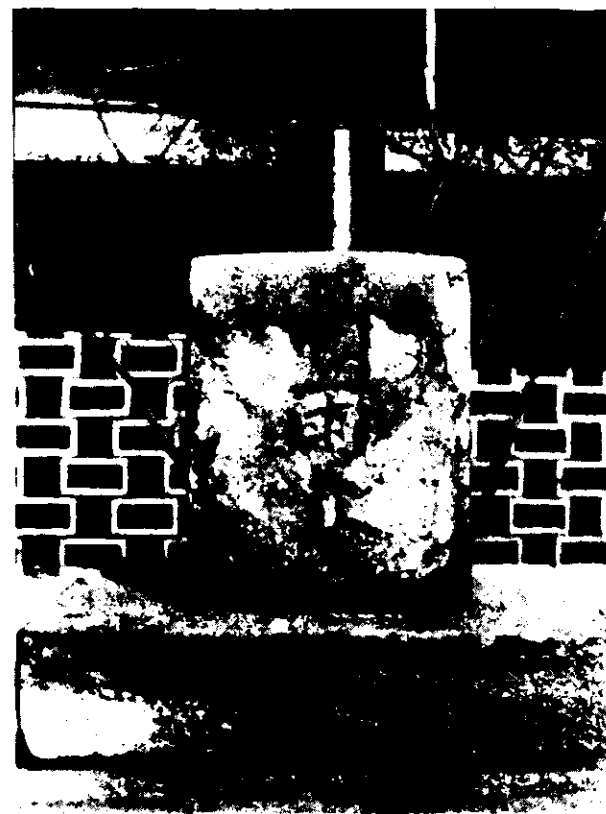


Рис. 17. Корейский дождемер 1441 г. (Центральное метеорологическое управление в Сеуле.)

Седжоном, повелел изготовить множество дождемеров и установить два из них во дворце, около флюгера, а остальные — в главных городах восьми провинций. Дождемеры помещались на каменном постаменте, в углублении, сделанном в верхней поверхности постамента.

В начале XX в. директору Корейской метеорологической обсерватории Ваде, производившему систематические поиски старинных дождемеров, удалось обнаружить два дождемера, относящихся к периоду правителя Ёнджо, один в Сеуле, а другой в Чемульпо (Инчхоне), где по нему продолжали вести наблюдения (рис. 19) [6]. Три крупных иероглифа на постаменте

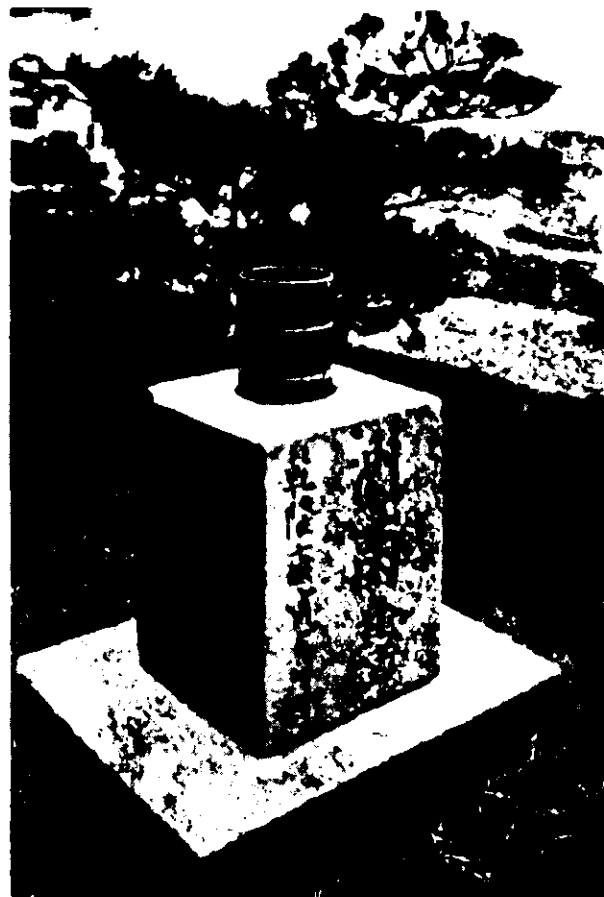


Рис. 18. Дождемер 1770 г., обнаруженный в Чемульпо (Корея).

(см. рис. 19) означают: «Прибор для измерения дождя», а семь малых указывают на дату его установки по Китайскому летоисчислению (1770 г. н. э.). Вада нашел также в парке королевского дворца постамент кубической формы из мрамора, с углублением в верхней части для дождемера. На нем вырезано около 360 иероглифов, сообщающих, что дождемеры были «изобретены» в правление короля Седжона и впоследствии усовершенствованы правителем Ёнджо.



Рис. 19. Гипсовая копия корейского дождемера (Лондонский музей науки).

На рис. 19 показана гипсовая копия старого (1837 г.) корейского «чхыгючи» (прибора для измерения атмосферных осадков), хранящегося ныне в Лондонском музее науки. Такие измерители стояли на «юньгуантай» (площадках для наблюдений за облаками). Образцом для него послужил описанный выше дождемер, находящийся ныне в Корейской обсерватории в Чемульпо. Таким образом, в 1770 г. была сделана копия дождемера правителя Седжона, а в 1837 г. — копия этой копии.

Заключение

За тринадцать веков, о которых говорится в этой главе, гидрология сделала лишь незначительные успехи. Ученые, жившие в этот период, верили или были вынуждены верить в то, что наука должна быть подчинена теологии. Как и все остальные науки в это время, гидрология неизбежно страдала от интеллектуального гнета, но, с другой стороны, на развитие и этой отдельной области знаний безусловно оказывали воздействие, пусть косвенное, воззрения таких людей, как Роджер Бэкон, который говорил:

«...[для доказательств] недостаточно одних аргументов, необходимы опыты».

Оглядываясь назад, следует признать, что наиболее значительным достижением в области гидрологии за эти тысячу триста лет было возобновление измерения количества осадков в Китае и Корее.

Введение В эпоху позднего средневековья в университетах получали образование лишь люди, желавшие стать священнослужителями, юристами или медиками, и их кругом в основном ограничивалась интеллектуальная жизнь Европы. Средний человек был вполне удовлетворен, если его считали хорошим христианином (то есть если он умел читать библию и заботился о спасении своей души). Ученый того времени полагал, что многие религиозные истины, подобно чудесам, не требуют обоснований и объяснений. Когда у него возникал, скажем, такой вопрос: «Откуда берется в источниках вода?», он прежде всего обращался к священному писанию. Если он там не находил ответа, то мог начать искать его в сочинениях греческих и римских философов или даже мусульманских мыслителей. Но, как правило, он даже и не пытался дать подобным явлениям природы свое собственное объяснение. Неудивительно, что в это время гидрология и метеорология не сделали успехов.

Только в XII в. появились первые признаки отделения философии от науки, хотя окончательный разрыв произошел лишь несколько веков спустя. Понятие «философии» включало тогда любое исследование, и научное, и философское, в современном значении этих терминов. Церковь так долго подавляла светскую науку, что отдельные независимые мыслители, такие как Роджер Бэкон и Леонардо да Винчи, не могли оказать сколько-нибудь значительного влияния на состояние знаний. Правда, освежающий ветерок Ренессанса и реформации принес с собой новые идеи, но и они не мешали тому, что работы древних греческих мыслителей

по-прежнему с монотонной регулярностью рассекались на части и компилировались. Это было все то же старое вино, но с новой этикеткой на бутылке.

За очень немногими исключениями люди предпочитали наблюдениям над живой природой книжные знания, и университеты все свое внимание сосредоточивали на классической литературе, проявляя к экспериментальной науке не меньшую нетерпимость, чем сама католическая церковь. В такой неблагоприятной для прогресса науки обстановке появился великий гений Леонардо да Винчи.



Леонардо да Винчи, автопортрет. (Галерея Уффици во Флоренции.)

Леонардо да Винчи

Леонардо да Винчи, побочный сын флорентийского юриста, родился в 1452 г. в Италии, в маленьком тосканском городке Винчи. В 1481 г. он написал необычное письмо герцогу Миланскому Людовико Сфорца, предлагая свои услуги. (Это письмо дошло до нас в копии.) В письме он отрекомендовался опытным военным инженером, архитектором, строителем, а также скульптором и художником, который «не уступит никому, кто бы это ни был». Письмо возымело свое действие, а Леонардо далеко превзошел все свои обещания. Умер он в Амбуазе, во Франции, в 1519 г.

Леонардо был гением, и вряд ли кто-нибудь станет это оспаривать. По свидетельству Бенвенуто Челлини, французский король Франциск I сказал: «Никто не достиг таких вершин, как Леонардо, не только как скульптор, художник и архитектор, но и как глубокий философ». Некоторые исследователи даже утверждают, что Леонардо предвосхитил открытия Френсиса Бэкона, Джеймса Уатта, Исаака Ньютона и Уильяма Гарвея, но они, по видимому, слишком далеко заходят в преклонении перед великим флорентийцем. Приверженцы диаметрально противоположной точки зрения считают, что в технических идеях Леонардо мало оригинального, что его труды повторяют в основном работы Франческо ди Джорджио (1439—1500) и других инженеров эпохи Возрождения [1]. Истина, очевидно, где-то посередине. Как бы то ни было, Леонардо дал гидрологии и гидротехнике могучий стимул к прогрессу, но он же сам отчасти виноват в том, что этот прогресс задержался.

Леонардо был плодовитым автором. Он начал делать записи в возрасте 37 лет и продолжал вести их почти до самой своей смерти. Несмотря на то, что его ценные научные замечания и чертежи занимают около 7000 листов бумаги, несмотря на то, что публикация их в то время была вполне осуществима, Леонардо не опубликовал ни одной строчки. Он излагал свои мысли в чрезвычайно сжатой форме, а записи вел так называемым «зеркальным» почерком, свойственным только левше. Леонардо, однако, сознавал недостатки своих заметок. В рукописи, хранящейся ныне в Британском музее, он писал:

«Это — беспорядочное собрание мыслей, взятых из многих работ, которые я здесь воспроизвожу в надежде расположить когда-нибудь по порядку, в соответствии с их содержанием. Боюсь, что я часто повторяюсь. Не брани меня за это, читатель: тем много, и я не в состоянии удержать их все в памяти, чтобы сказать себе: «Этого я писать не буду, потому что писал уже об этом раньше».

После смерти Леонардо все рукописи унаследовал его молодой друг и компаньон Франческо Мельци, который тщательно отобрал из них все, что относилось к искусству, а остальное оставил без внимания. Эти «отходы» в конце концов были связаны в двадцать с лишним пачек и переданы или проданы библиотекам и частным лицам. Но и после этого они по-прежнему оставались почти неизвестными. Наконец некоторые записи попали на глаза выдающемуся инженеру-гидравлику Джованни Батиста Вентури (1746—1822), по имени которого Клеменс Гершель назвал современный водомер. Изучив заметки Леонардо, Вентури написал статью «О физико-математических работах Леонардо да Винчи», которая была опубликована в 1797 г. Вентури доказывал, что Леонардо был выдающимся ученым, который намного опередил свое время. Еще большее значение его статьи в том, что она вызвала неиссякающий и поныне поток книг и статей о Леонардо. Для нас особенно интересно то обстоятельство, что наибольшее число научных заметок Леонардо посвящено гидрологии и гидравлике.

Леонардо о круговороте воды. Воззрения Леонардо, касающиеся гидрологического цикла, изучены не так тщательно, как они того заслуживают. Они затронуты лишь в двух серьезных работах. Авторы их, Ф. Адамс [2] и О. Мейнцер [3], пришли к ошибочному выводу, что у Леонардо было верное представление о круговороте воды. В своей книге «Рождение и развитие геологической науки» Адамс пишет:

«Леонардо да Винчи... одним из первых нашел правильное толкование происхождения рек. Он мало писал по этому поводу, но из наблюдений в Альпах понял, что пласты водопроницаемых горных пород, находящиеся в синклинальных складках горных систем, особенно имеющие большой угол падения и залегающие между водонепроницаемыми пластами, играют важную роль, так как они позволяют дождевым и снежным водам проникать в глубину земной коры, откуда они могут снова выйти на поверхность земли где-нибудь далеко или поступить непосредственно в океан, не появляясь больше на земной поверхности».

Адамс основывался не на первоисточниках, а на работе Де Лоренцо о записях Леонардо да Винчи. Позднее Мейнцер цитировал Леонардо (в переводе Дж. Рихтера) в подтверждение своей мысли о том, что у итальянца было правильное представление о гидрологическом цикле. К сожалению, процитированные строки, если проанализировать их истинный смысл, обнаруживают, что Леонардо заблуждался. Как бы то ни было, внимательное изучение самих заметок Леонардо да Винчи показывает, что среди высказанных им за много лет мыслей есть несколько четких и приемлемых в наше время положений о природе круговорота воды. Ниже поясним, в чем они выражались.

Знакомство с трудами Плиния (23—79 н. э.) и основателя экспериментальной физиологии Галена (130—200 н. э.) убеждает нас в том, что они могли оказать серьезное влияние на Леонардо, особенно, как станет ясно из нижеследующего, на его представления о круговороте воды. Плиний писал в «Естественной истории»:

«Вода пропитывает землю и проникает в нее повсеместно — изнутри, извне, сверху, по соединяющим жилам, разбегающимся во всех направлениях, вырывается на самые высокие горные вершины, и там, подгоняемая пневмой («духом») и вытесняемая тяжестью земли, извергается, словно из фонтана; представляется, что воде никогда не угрожает опасность излиться вниз; напротив, она прорывается на возвышенности и горные вершины. Вот почему моря никогда не переполняются от каждодневного притока речной воды».

Влияние воззрений Галена было иного рода. По его примеру Леонардо анатомировал человеческие трупы и искал в них сходства не только со строением других живых существ, но и с неодушевленными предметами и даже с самим мирозданием. Это видно из его тезисов к задуманной, но так и незавершенной работе «Трактат о воде»:

«Древние говорили, что человек — это Земля в миниатюре. И, конечно, это мнение справедливо, ибо раз тело человека состоит из земли, воды, воздуха и огня, он напоминает землю; как кости служат опорой и остовом для

плоти человека, так и землю поддерживают скалы; как внутри человека — озеро крови, в котором при дыхании вздымаются и опадают легкие, так и тело Земли имеет свой океан, каждые шесть часов отливающий и приливающий вместе с ее дыханием; как из этого озера крови выходят жилы, разветвляющиеся по всему телу человека, так и моря наполняют тело Земли бесчисленными источниками воды. Тело Земли лишено сухожилий и мускулов, ибо они предназначены только для движения, и Земля, находящаяся в состоянии вечного покоя, в них не нуждается. Но во всем остальном Земля и человек очень схожи... Если бы тело Земли не имело такого сходства с человеческим телом, воды морей, находящиеся намного ниже гор, не могли бы подыматься на их вершины. Отсюда следует, очевидно, что те же причины, которые удерживают кровь в голове человека, заставляют воду подыматься на вершины гор».

И Леонардо развивает эту мысль дальше:

«Та же самая сила, которая заставляет жидкость внутри человеческого тела двигаться вопреки естественному закону тяжести, гонит воду по жилам Земли, в которые она заключена, и распределяется по мелким протокам. Как кровь подымается с низу тела и брызжет через разорванные жилы на лбу, как влага из корней виноградной лозы подымается к надрезу на ее стволе, так и вода подымается из морских глубин к горным вершинам, выливается там из вскрытых жил и возвращается в море. Таким образом движение воды внутри Земли и вовне все время чередуется, вода то подымается вверх, то, подчиняясь своему естеству, падает вниз. Так она все движется и движется, в непрерывном круговращении, снизу вверх и сверху вниз, никогда не оставаясь в покое и не отклоняясь ни от своего предназначения, ни от своей природы».

Эта выдержка из сочинений Леонардо имеет как будто мало общего с современной теорией круговорота воды, но тут же, на том же листе, он пишет:

«Где есть жизнь, там есть тепло, а где есть жизненное тепло, там происходит движение паров. Это не требует доказательств, ибо мы видим, что элемент огня своим теплом притягивает к себе влажные пары и плотные туманы в виде компактных облаков, которые он заставляет подыматься с морей, озер и рек, из сырых долин; пары эти постепенно

подымаются до области холода, и здесь первая часть их останавливается, потому что тепло и влажность не могут существовать рядом с холодом и сухостью; к первой части одна за другой присоединяются остальные, и так образуются плотные темные облака. Носимые ветром, они соединяются в большие массы и становятся настолько тяжелыми, что низвергаются сильным дождем; а если силу элемента огня умножает жар солнца, облака притягиваются еще выше и встречают там еще больший холод, в котором образуют лед и снег, и тогда они низвергаются бурями с градом. То же самое тепло, которое удерживает тяжелые массы воды, дождем падающей из облаков, заставляет ее подыматься с подножия гор вверх, достигать вершин и, найдя какие-нибудь расселины, изливаться из них, образуя таким образом реки».

Следовательно, здесь буквально рядом соседствуют две противоположные концепции круговорота воды — одна, с точки зрения наших современных представлений, правильная, вторая — ошибочная. Характерно, что Леонардо иногда выражал сомнения по поводу тех или иных деталей этих концепций, но пока что в его заметках не найдено записей, указывающих на то, что он когда-нибудь отвергал основные положения своих гидрологических теорий. По-видимому, он считал, что обе системы круговорота воды действуют параллельно. Нетрудно себе представить, как Леонардо наблюдает горный поток (великий итальянец считал его разорванной земной жилой), мчащийся по склону горы во время внезапного ливня, когда падающая с неба вода увеличивает его водоносность. В последнем из приведенных только что рассуждений он, очевидно, пытался передать эту мысль.

Сказанное выше дает основание утверждать, что не все в схеме гидрологического цикла Леонардо да Винчи согласуется с современными взглядами, но тем не менее следует признать, что он четко и верно сформулировал основные положения концепции, по сей день пользующейся общим признанием [4]. На рис. 20 дано графическое изображение круговорота воды по Леонардо да Винчи.

Леонардо да Винчи о течении воды в открытом русле. Леонардо представлял себе законы течения воды в открытых руслах лучше, чем все его предшественники и современники, и это

неудивительно, так как он основывался на личных наблюдениях. С юных лет его привлекало исследование различных физических свойств гор, рек и морей. На рис. 21 воспроизведены две смежные страницы из рукописи Леонардо. На одной изображен размышляющий философ (возможно, сам Леонардо), а на другой сделано несколько набросков бурлящей воды. Как правило, Леонардо производил наблюдения лично, и притом на лоне природы. Он утверждал, что, только опираясь на исследования и эксперименты, можно сделать правильные выводы.

К счастью для гидрологов и гидравликов, исследования Леонардо о воде, разбросанные по разным рукописям, собраны воедино стараниями различных ученых, среди которых, в частности, следует назвать Арконати (1643), Кардинали (1826), Маккарди (1928) и Рихтера (1939). (Последние два автора перевели рукописи на английский.)

Леонардо неоднократно писал о свободном потоке воды и, очевидно, имел ясное представление о принципе неразрывности; принцип этот по праву можно было бы назвать его именем. Вот, например, такое высказывание:

«Если две реки получают в своем начале равный объем воды, то равное же количество воды выйдет из их устьй, то есть вытечет равный объем воды в равное время, хотя реки могут различаться по длине, ширине, величине уклона, глубине, русло одной реки может быть извилистым, а другой — прямым; или же оба русла могут извиваться.

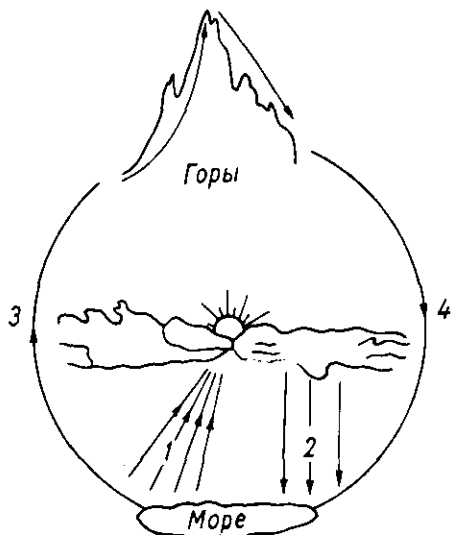


Рис. 20. Круговорот воды по Леонардо да Винчи.

1 — испарение; 2 — осадки; 3 — морская вода, поднимающаяся по «земным жилам» на вершины гор; 4 — речной сток в море.

но их извилины могут иметь разные очертания; или же у одной реки ширина постоянная, а у другой изменяющаяся; или же у обеих ширина может изменяться, но по-разному; или же у одной глубина неизменная, а у другой переменная; или же у обеих рек глубина изменяется, но эти изменения не имеют ничего общего между собой; и одна река может все время течь быстро, а другая — все время медленно, или же попеременно то быстро, то медленно; тот факт, что в этих двух реках существует бесконечное многообразие течений, различающихся по длине, ширине, уклону и глубине, не препятствует тому, что при равных количествах воды, в них поступающих, равное же количество воды из них и выйдет».

Леонардо предложил ставшую теперь широко распространенной аналогию принципа неразрывности:



Рис. 21. Две смежные страницы из рукописей Леонардо да Винчи с набросками струящейся воды и размышляющего старца.

«Представим себе улицу, состоящую из трех смежных участков разной ширины; первый участок — наиболее узкий, в четыре раза уже, чем второй, а второй в два раза уже, чем третий (рис. (22)); все три участка заполнены людьми, тесно прижавшимися друг к другу; они должны идти, не останавливаясь; когда люди на широком участке делают один шаг вперед, то те, кто находится на среднем участке, должны делать два шага, а те, кто на самом узком, — восемь; эта пропорция сохраняется при любом движении, проходящем через участки различной ширины».

Леонардо понимал, какое значение имеет уклон в гидравлике открытых потоков:

«Если русло реки имеет большой уклон, вода течет быстрее; а при более быстром течении река больше вымывает и углубляет русло, так что то же самое количество воды занимает меньше места».

Скорость потока. Рассмотрим три положения Леонардо:

«Потоки воды, падающие с равной высоты при равном уклоне, при движении на равном расстоянии будут иметь равную скорость».

«Из потоков, падающих с равной высоты и текущих по руслам с одинаковым уклоном, быстрее будет течь тот, который имеет большую длину».

«Из потоков, падающих с равной высоты на равном расстоянии, быстрее будет течь тот, который имеет большую длину».

Это явно ошибочная мысль, ибо существует прямая функциональная зависимость между скоростью и расстоянием. Если бы Леонардо вместо расстояния ввел элемент времени, он несомненно сформулировал бы один из основных законов движения (скорость равна ускорению, умноженному на время) почти за сто лет до Галилея. Он, однако, понимал, что ускоренное дви-

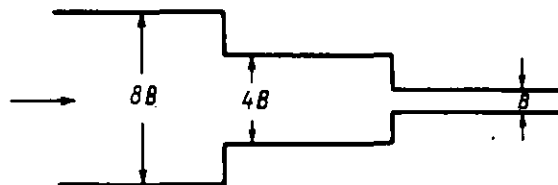


Рис. 22. Пояснение принципа неразрывности потока, предложенное Леонардо да Винчи.

жение не может продолжаться до бесконечности из-за сопротивления стенок русла и дна, и имел отличное представление о распределении скорости:

«Скорость движения воды на поверхности больше, чем у дна. Происходит это оттого, что на поверхности вода соприкасается с воздухом, сопротивление которого невелико, так как он легче воды, а на дне вода соприкасается с грунтом, сопротивление которого больше, так как он тяжелее воды и неподвижен. Из этого следует, что та часть воды, которая дальше от дна, испытывает меньшее сопротивление, чем та, что находится внизу» [5].

На рис. 23 воспроизведена картина А. Фразьера, на которой изображен Леонардо, изучающий распределение скоростей течения в реке. Деревянный поплавок, плывущий в воде, художник срисовал с рукописи Леонардо, хранящейся в Институте Фран-



Рис. 23. Леонардо измеряет скорость течения реки с помощью поплавков.

ции. Такой же поплавок изображен в одной из записных книжек Леонардо. Леонардо держится вровень с поплавком, плывущим посередине реки вниз по течению. Одновременно он измеряет пройденное расстояние при помощи одометра*. Для измерения времени, за которое поплавок покрывает это расстояние, он распекает музыкальные гаммы. На противоположном берегу реки сидит его помощник с заготовленными поплавками. Позади Леонардо — ватерпас, с помощью которого он определял уклон реки, и кувшин с водой для «заправки» ватерпаса. Все эти предметы срисованы художником с рисунков из подлинных рукописей Леонардо. Это, очевидно, была первая серьезная попытка определения скорости движущейся воды с помощью поплавков.

Трактат о воде. Леонардо собирался написать трактат о воде и даже уже решил, что разделит его на следующие пятнадцать книг: о самой воде (1); о мере (2); о подземных потоках (3); о реках (4); о природе пучин (5); о препятствиях (6); о различных видах песка (7); о поверхностных водах (8); о предметах, в них двигающихся (9); об укреплении (берегов) рек (10); о водоводах (11); о каналах (12); о машинах, приводимых в движение водой (13); о наводнениях (14); о веществах, находящихся в воде (15).

Хотя замысел работы был совершенно ясен Леонардо, он так и не завершил ее. В его рукописях, особенно в Лейстерской, множество заметок, зарисовок и конспектов глав предполагаемой работы. Одна такая запись, об осадках, гласит:

«Написать, как образуются и как рассеиваются облака и почему испарения с поверхности воды или земли поднимаются в воздух; как образуются туманы и воздух уплотняется и почему воздух кажется то менее, то более голубым. Написать также о различных слоях воздуха и причинах возникновения снега и града, и как вода уплотняется и становится твердой в форме льда, и о новых формах, которые принимает снег в воздухе...»

Если бы Леонардо закончил свою книгу и позаботился о ее издании, история гидрологии и гидравлики (а также гидротехники) еще при его жизни пополнилась бы важным разделом.

Другие гидрологические концепции Леонардо. Римский куратор водоснабжения Фронтин, живший почти за 14 веков до Леонардо, имел смутное представление о том, что расход воды через отверстие зависит от ее напора. Леонардо высказывался по этому вопросу гораздо яснее, чем Фронтин, но и он кое в чем заблуждался. Леонардо предполагал, что между напором воды и скоростью потока существует прямая функциональная зави-

симость. По аналогии он распространил эту зависимость и на другие области гидравлики и гидротехники, в частности, на водосливы и шлюзовые ворота. Он даже привел такой пример: если напор воды на водосливе возрастет с 2 дюймов до 3, то в самом нижнем слое толщиной 1 дюйм сила, скорость и расход воды увеличатся в два раза.

Леонардо одним из первых систематически исследовал очертания речных русел. Очень скоро он подметил, что посередине прямолинейного русла скорость течения воды больше, чем у берегов, где действует трение. Леонардо много занимался исследованием течения в реках и каналах и, без сомнения, пользовался для этого моделями. В его записных книжках есть наброски деревянных моделей каналов, в которых он производил эксперименты. Он применял красители для изучения движения воды, его заметки и рисунки показывают, что для удобства наблюдений некоторые его опытные лотки имели стеклянные стенки. На одной из моделей он изучал характер отложений в русле реки за каким-либо препятствием. На дно деревянного лотка он насыпал песок, а в центре поместил препятствие — камень. Для опыта была использована вода, несущая песок. Леонардо заметил, что особенно много песка отложилось за камнем. По-видимому, в большинстве опытов с моделями, как и в этом, Леонардо изучал не количественные, а качественные изменения. Тем не менее его рвение экспериментатора не может не вызывать восхищение.

По мнению Леонардо, соленость морской воды объясняется тем, что некоторые реки, протекающие через соляные пласты, отдают океану содержащуюся в них в большом количестве соль. Он считал, что по мере испарения соленость морской воды возрастает. Недаром «в наше время морская вода содержит больше соли, чем когда-либо прежде».

О теориях Леонардо, касающихся ирригации, осушения земель и регулирования паводков, довольно подробно пишет Парсонс [6].

Джероламо Кардано

Джероламо Кардано (1501—1576) был плодовитым автором, пользовавшимся довольно большой популярностью и влиянием во второй половине XVI в. Не секрет, что Кардано свободно

черпал из рукописей Леонардо, выдавая эти заимствования за свои мысли (а следовательно, великий итальянец, пусть через посредство таких плагиаторов, как Кардано, все же воздействовал на развитие науки). Кардано свел традиционные четыре первоэлемента к трем, исключив огонь. Четыре свойства он сократил до двух, опустив влажность и зной, присудив небу. Он считал, что земля, подобно губке, пропитана подземными водами и что суши значительно больше, чем воды. Вода остается на поверхности земли только потому, что внутри ей не хватает места. Эта гипотеза, по его мнению, прекрасно согласовывалась с тем обстоятельством, что вода неизменно стремится течь вниз.

Кардано полагал, что потоки начинаются в маленьких ложинках или канавках, в которых собираются испарения, сгустившиеся над землей и под землей. Благодаря дождям и тающим снегам потоки увеличиваются и тогда становятся реками. Главным источником речной воды Кардано считал превращение пара в воду. Хотя Кардано заимствовал свои идеи в основном у Леонардо да Винчи, в вопросе образования источников он, видимо, отдавал предпочтение Аристотелю. В XVI в. термины «воздух» и «пар» употреблялись как синонимы. И даже сто лет спустя, говоря о теории Кардано, известный немецкий географ Бернхард Варениус утверждал, что «между воздухом и паром разница небольшая». В подтверждение своих теорий Кардано ссылался на то, что, наблюдая ранним утром горы, нетрудно заметить, что вокруг них скапливается очень много влаги. Эта влага, осаждающаяся внутри гор благодаря прохладе скал, а на горах — благодаря ночной прохладе, причина того, что рано утром уровень рек повышается, особенно если они стекают с гор*. Впоследствии это мнение опроверг Пьер Перро.

Бернар Палисси

Бернар Палисси родился около 1510 г. во Франции. Свою карьеру Палисси начал с того, что делал цветные стекла для витражей, но, чтобы прокормить жену и шестерых детей, он подрабатывал землемерными работами. После шестнадцати лет упорных экспериментов Палисси удалось усовершенствовать технику изготовления глазурированной посуды, что принесло ему славу и богатство. Впоследствии он даже применял изобретенный им способ изготовления декоративных керамических изделий для украшения дворцов.

Палисси одним из первых в своем родном городе Сенте принял во время реформации протестантизм, и если бы главный его покровитель коннетабль Франции де Монморанси не передал

его судебное дело непосредственно самой королеве Екатерине Медичи, его почти наверняка казнили бы. Во время гражданской войны 1588 г. он был заключен в тюрьму, где и умер через два года.

Палисси любил природу и свои теории основывал главным образом на личных натуральных наблюдениях. Неудивительно, что его взгляды часто противоречили теориям признанных авторитетов, что, впрочем, не особенно беспокоило Палисси и даже усиливало его увлечение научными изысканиями. Книга Палисси «Достославные рассуждения», изданная в 1580 г. [7], была написана по-французски, однако тогда в науке преобладала латынь, и может быть, именно поэтому она не привлекла того внимания, которого бесспорно заслуживала. Сам Палисси утверждал, что не знает ни греческого, ни латыни, но это его утверждение могло быть всего лишь позой.



Бернар Палисси.

Палисси проявил правильный подход к таким опытным наукам, как палеонтология, гидрология, геология, ботаника, агрономия, химия, зоология, минералогия, и этим далеко не исчерпывается перечень всего, чем он интересовался. В его «Рассуждениях» выступают два персонажа: Теория, которая задает вопросы, и Практика, которая на них отвечает. В ее ответах обычно излагались воззрения, отличавшиеся от традиционных.

Круговорот воды. Как ясно из сказанного выше, до Палисси верное представление о круговороте воды имели только очень немногие исследователи, но ни один из них не изложил свои взгляды так четко, как этот гугенот. Палисси был знаком с работами Витрувия, поэтому не исключено, что он заимствовал свои идеи у римлянина, но если даже это и так, нельзя не восхищаться тем, с какой железной логикой он старался подтвердить теорию своими собственными наблюдениями над природой.

Палисси, устами которого говорила Практика, категорически утверждал, что источником воды в реках и ключах могут быть только дожди, за что Теория назвала его «великим олухом», осмелившимся самонадеянно противоречить самым выдающимся философам всех времен. Это не взволновало Практику, уверенную в своей правоте. С большим искусством и логичностью она опровергает древние теории о том, что источники происходят непосредственно из морской воды или из воздуха, превратившегося в воду. Палисси прибегает к помощи понятия гравитации, оспаривая первую теорию; он доказывает, что, будь она верна, море находилось бы над горами, с вершин которых стекают реки, вода в них имела бы соленый вкус, а во время отливов реки бы высыхали. Правда, рассуждает Палисси, реки действительно иногда высыхают, но эти периоды отнюдь не совпадают с отливами. При отсутствии дождей они высыхают даже летом, а это подтверждает его точку зрения. Самые высокие приливы связаны с мартовским и июльским полнолуниями, следовательно, если правы его противники, в июле, августе и сентябре многочисленные реки и колодцы не должны высыхать. Если бы даже море и горы находились на одном уровне, то и тогда вода могла бы подняться на горные вершины только под давлением, по водонепроницаемым туннелям, а такие туннели встречаются в природе крайне редко. Но даже будь это иначе, вода из такого туннеля просочилась бы в первое же отверстие и затопила бы окрестности. Весьма довольная своими возражениями против «океанического происхождения источников», Практика предложила Теории обратиться к философам древности и попытаться найти у них хотя бы один контраргумент!

Палисси не верил, что в углублениях пещер или скал воздух превращается в воду, но допускал, что вода может образовываться в таких условиях в результате сгущения паров, однако в таких ничтожных количествах, что ее никак не может хватить для поддержания стока рек всего мира.

Отвергнув таким образом две наиболее распространенные теории своего времени, Палисси излагает свою точку зрения:

«Дождевая вода, падающая на землю зимой, летом вновь подымается вверх, чтобы зимой снова упасть; действие солнца и сухих ветров, проносящихся над землей,— причина того, что большое количество воды возносится вверх: она собирается в воздухе и образует облака, расходящиеся во все стороны, подобно посланцам бога. И когда ветер толкает эти пары, на все части земли падает дождь, а если богу угодно, чтобы эти облака (которые есть не что иное, как скопления воды) рассеялись, он превращает пары в дождь, который падает наземь».

Эта гипотеза ближе к истине, чем большинство выдвигавшихся ранее. Но она еще не объясняет, что происходит после дождя и как образуются реки. И Палисси, сознавая, что он на правильном пути, уверенно идет дальше:

«И эти воды, падающие на горы, все время стекают вниз по поверхности земли и трещинам и не останавливаются, пока не достигнут места, прегражденного тесно сомкнувшимися камнями или скалами. Здесь воды скапливаются на дне и, найдя какое-нибудь русло или отверстие, вытекают в виде родников, ручьев или рек, в зависимости от размеров отверстия и водоема; а поскольку такой источник не может (действуя против своей природы) подняться на гору, он спускается в долину. И хотя в начале такие ручьи, спускающиеся с гор, не очень велики, они постепенно увеличиваются в размерах и умножаются в числе благодаря помощи со всех сторон, особенно с земель и гор, находящихся справа и слева от этих источников».

Вот, говорит Палисси, краткое объяснение того, как образуются реки и источники, и незачем искать другие причины помимо этой.

Другие гидрологические теории Палисси. Кроме происхождения рек и источников, Палисси исследовал механизм действия артезианских колодцев, питания колодцев водой ближних рек, замедленного изменения уровня воды в реках. Он писал о том, как предупредить эрозию почвы с помощью лесонасаждений и как построить «фонтаны» для бытового водоснабжения. Принцип артезианских колодцев был изложен попутно в главе о мергеле, в которой Палисси говорил об исследовании почв и их напластований. В Артуа артезианскими колодцами пользовались давно, но Палисси дал объяснение принципа их действия:

«Я полагаю, что землю нетрудно пробурить и таким образом найти мергель и даже колодезную воду, которая часто поднимается над тем местом, где ее обнаружил бур. Это случается тогда, когда источник воды расположен выше пробуренной вами скважины».

Так же мимоходом Палисси высказывается о пополнении колодцев водой из ближних рек. Он был уверен, что в колодцы, находящиеся поблизости от рек, вода поступает из самих этих рек. Это доказывается тем обстоятельством, что в таком колодце вода стоит высоко во время паводков, но как только вода в реке спадает, уровень воды в колодце также понижается. Это служит окончательным доказательством того, что в земле есть «жилы», соединяющие колодцы с реками. Если вместо слова «жила» подставить термин «водоносный пласт», утверждение Палисси не будет отличаться от современного объяснения этого явления.

Палисси внимательно наблюдал природу и умел обобщать свои наблюдения. К тому же он был человеком практичным, и та часть первой главы его «Рассуждений», которая посвящена водам и источникам, доказывает, как искусно он пользовался выводами из своих наблюдений для разрешения различных практических задач. В этой главе говорится о том, как в местности с песчаной почвой добыть достаточно воды для домашних нужд. Рассматриваются четыре различных случая.

Первый касается дома, расположенного у подножия горы. Палисси советует заделать все отверстия и трещины на склоне горы, чтобы свести к минимуму утечку воды. Тогда дождевую воду, падающую на эту водосборную площадь, можно заставить стекать к нужному месту у подножия горы, соорудив две стенки, ведущие с двух сторон к этому месту. Более глубокие русла надо перегородить крупными камнями, чтобы предохранить дом от разрушительного действия бурных потоков, образующихся обычно после сильных ливней. В порядке дополнительной предосторожности на склоне горы следует посадить деревья, ко-

торые не только уменьшат скорость стекания дождевых вод, но и предупредят эрозию почвы. Это одно из самых первых утверждений о благотворном воздействии леса на сохранение почвы. Стекающую по склону воду следует пропустить через два бассейна, из которых один расположен выше другого. Верхний бассейн должен быть выложен в верховой части песком, фильтруясь через который вода освобождается от нежелательных солей. Вход во второй бассейн необходимо преградить другим фильтром — перфорированным листом железа. Собранный таким образом вода может быть использована для любых нужд.

Второй случай, представляющий собой лишь вариант первого, касается водоснабжения рыцарского замка, окруженного рвом и находящегося на небольшом расстоянии от подножия горы. В этом случае схема водоснабжения отличается от первого варианта только тем, что из нижнего бассейна вода доставляется в замок по системе труб.

В третьем случае речь идет об устройстве водоснабжения в равнинной местности, находящейся на значительном расстоянии от горы. Палисси советует хозяину выбрать участок соответственно числу членов его семьи, и придать ему уклон к дому, переместив, если надо, землю с одной стороны участка на другую, так, чтобы разница высот на противоположных сторонах составляла около четырех футов. Участок этот следует вымостить камнем, кирпичом или глиной, чтобы избежать потерь воды из-за просачивания. В покрытии можно оставить отверстия для деревьев, а на него насыпать слой земли толщиной около фута и разбить огород. Этот водосбор может давать воду, фрукты, овощи, древесину, а также служить пастбищем или прекрасным местом для прогулок. Интересно, выполнил ли бы такой водосбор многообещающие предсказания автора проекта, если бы был устроен? (Насколько нам удалось выяснить, такого участка не существовало.) Говоря о причинах, по которым посеянные на участке семена не будут покрыты водой, Палисси дает убедительное объяснение, почему поднятие уровня воды в реках отстает от выпадения атмосферных осадков:

«Дождевая вода, падающая на горы, равнины и все прочие места, имеющие уклон к рекам или источникам, не так быстро в них попадает. Будь это иначе, все источники летом пересыхали бы. Но дело в том, что вода, зимой падаю-

щая на землю, не может течь быстро, а просачивается мало-помалу в землю, пока не достигает какого-то водонепроницаемого грунта. Если же она наталкивается на скалу, то по ее склону стекает в реку. Из этого следует, что наряду с реками имеется много постоянных источников, текущих очень медленно. Таким образом все источники питаются водой с конца одной зимы до другой».

Четвертый и последний вариант устройства системы водоснабжения аналогичен третьему, с той разницей, что хозяину земли не по средствам вымостить участок. Палисси предлагает в этом случае плотно утрамбовать землю на участке и покрыть ее дерном, тесно переплетенные корни которого уменьшат потери воды из-за просачивания.

Описание всех водосборов, предназначенных для водоснабжения, убеждает в одном: Бернар Палисси наблюдал природу и старался ей подражать. В основе всех четырех решений лежит один и тот же принцип: необходимо выбрать водосборный участок и уменьшить потери из-за просачивания и испарения воды, чтобы хозяин земли получил в свое распоряжение максимальное количество дождевой воды.

Георг Агрикола

Георг Агрикола (Георг Бауэр, 1494—1555) высказал совершенно определенные взгляды на происхождение грунтовых вод. Подобно Аристотелю, он считал, что вода образуется внутри земли в результате сгущения паров [2]. А причиной образования паров является подземный жар, порождаемый в первую очередь горением асфальта. По мнению Агриколы, подземные воды образуются двумя способами: благодаря просачиванию поверхностных вод (дождя, речных и морских вод) и конденсации подземного пара, возникающего при нагревании глубоко просочившихся поверхностных вод. Хотя Агрикола, выдвинув гипотезу подземного образования воды, следовал за Аристотелем, он был чуть ближе к истине, чем стагирит: по его мнению, вода образуется из сгустившегося пара, а по мнению Аристотеля — из воздуха. Но, конечно, гипотезу Агриколы о процессе испарения и последующей конденсации нельзя признать научной.

Причиной возникновения рек и источников Агрикола считал совместное действие дождя и сгущения паров. Факт просачивания морской воды в глубь земли подтверждается, по его мнению, тем, что колодцы близ морского берега часто содержат соленую воду.

Агрикола верил, что с помощью «волшебного прута» можно определить местонахождение воды или минералов. Это неудивительно, ведь даже такой крупный ученый, как Роберт Бойль (1626—1691), который жил почти на сто лет позднее Агриколы и был одним из основателей Лондонского Королевского общества, верил в действительность «волшебного прута» [8]. В книге Агриколы «О металлургии» подробно описано, как пользоваться этой раздвоенной палкой, и рис. 24 заимствован из этой книги.*



Рис. 24. Применение «волшебного прута» для поисков руды по Агриколе.

Мы почти ничего не знаем о жизни Жака Бессона. Известно только, что в 1569 г., когда он закончил свою работу «Искусство и наука отыскания подземных вод и источников», он занимал профессорскую кафедру в Орлеане. Небольшая книжечка (в ней всего 85 страниц) написана по-французски, и стиль ее весьма напоминает самый предмет изложения: бурный поток слов уносит читателя, почти не оставляя следов в его сознании. Книга разделена на три части: в первой говорится об образовании, местонахождении и течении воды на земле и под землей; во второй рассматриваются подземные воды, их количество, глубина и местоположение; третья посвящена методам обработки вредных и нездоровых вод и способам подачи воды на растояние.

Бессон утверждал, что в начале мироздания существовало только два элемента — вода и земля, а остальные два — воздух и огонь — возникли позднее благодаря разжижению и разложению огромных масс воды, затопивших все вокруг. Эта точка зрения, утверждавшая, что вода покрывала всю землю, прежде чем отступила в глубь морей и недра земли, несомненно, заимствована из Библии.

Главным вкладом Бессона в гидрологию было его ясное и правильное объяснение круговорота воды. Он утверждал, что солнечное тепло заставляет воду испаряться, после чего она возвращается на землю в виде дождя. Атмосферных осадков достаточно для того, чтобы поддерживать сток воды в реках и источниках, испарение и осадки уравниваются друг друга. Реки несут свои воды в море. А вот почему вода в море соленая, Бессон объяснял довольно оригинально: она соленая с самого момента своего сотворения, а значит, никакое объяснение здесь вообще не нужно!

Бессон отрицал, что ручьи образуются на горных вершинах. Ручьи на склонах гор, решительно утверждал он, возникают благодаря осадкам. Это подтверждается тем, что их сток увеличивается или уменьшается в зависимости от количества осадков.

Многие ученые подвергают сомнению самостоятельность воззрений Бессона. Он был современником Бернара Палисси, и работы обоих французов обнаруживают поразительное сходство, особенно в трактовке происхождения рек и источников.

Даты выхода в свет их книг следующие:

1563 — Бернар Палисси, «Истинный совет».

1569 — Жак Бессон, «Искусство и наука отыскания подземных вод и источников».

1580 — Бернар Палисси, «Достославные рассуждения».

Примечательно, что ни Бессон, ни Палисси никогда не упоминали друг друга в своих книгах. Возможно, Палисси первым сформулировал в 1563 г. свою теорию происхождения рек, а шестью годами позднее ее заимствовал и разработал Бессон: в 1580 г. Палисси наконец снова вернулся к этому вопросу. Трудно предположить, что каждый из них выдвинул одну и ту же идею совершенно независимо. Скорее всего значительную часть своих взглядов они заимствовали друг у друга. Вполне возможно, что Бессон и Палисси были знакомы, так как оба были представлены ко двору. Имея одинаковые научные интересы, они вполне могли при встречах обсуждать свои теории. А когда настало время изложить их на бумаге, каждый мог считать, что они принадлежат ему. Это, несомненно, компромиссное решение вопроса, но при отсутствии убедительных данных ни одного из этих ученых нельзя обвинять в плагиате.

Исследования паводков Джованна Фонтаны

На рождество 1598 г. архитектор Джованн Фонтана из Мели произвел в Риме наблюдения над разливом Тибра и вызванным им затоплением прилегающих земель. Написанный им по этому поводу трактат с посвящением папе Клименту VIII был опубликован в 1599 г., а затем переиздан в 1640-м по рекомендации Бенедетто Кастелли. Рождественский разлив Тибра вызвал многочисленные споры, возникшие, по мнению Фонтаны, из-за того, что никто не знал, где впадают в Тибр многочисленные реки и водотоки (каналы, канавы, рвы) и как влияют на них проливные дожди и сирокко*, наблюдавшиеся на протяжении многих месяцев перед паводком. Фонтана основывался на измерениях, которые он провел с помощью своего племянника и нескольких «умелых людей». Они систематически обследовали все реки, потоки и каналы, впадающие в Тибр на участке от Перуджи и Орвието до Рима, и на основании измерений глубины и ширины потока определяли площадь его поперечного сечения в обычных условиях и при паводке. Величину расхода в открытом русле Фонтана определял так же, как римский куратор водоснабжения Фронтин, то есть по формуле $Q = A$ (расход воды равняется площади поперечного сечения потока). Следовательно, по прошествии почти полутора тысяч лет методика

измерения расхода воды в открытом русле не изменилась. Ниже приводится пример вычислений Фонтаны:

«Поток воды в русле реки Чьяне обычно имеет ширину 72 пяди и глубину 8 пядей. Во время рождественского паводка река Чьяне имела в ширину 152 пяди и поднялась на $18\frac{1}{2}$ пядей выше нынешнего уровня. Таким образом, расход воды во время паводка составлял $152 \times 18\frac{1}{2} = 2812$ кв. пядей».

Фонтана произвел расчет для пяти составных элементов паводка, а именно: 1) для воды, приносимой рекой Чьяне, 2) рекой Палья, 3) рекой Тибр в местечке Кастелло ди Корвара, находящемся примерно в миле вверх по течению от устья реки Палья, 4) реками и источниками, впадающими в Тибр с обоих берегов на участке от Корвара до Рима и 5) рекой Нера и ее притоками.

На основании своих выкладок Фонтана пришел к выводу, что во время паводка площадь водосбора выше Рима дает Тибру на 500 кв. локтей 9 пядей больше воды, чем в обычное время. Поэтому он дал такой совет: «Чтобы устранить разливы Тибра, наносящие ущерб Риму, необходимо выкопать еще два русла, по крайней мере такой же ширины, как нынешние». Иными словами, Фонтана предложил провести регулирование русла.

Систематические наблюдения над паводочным стоком, пусть даже построенные на ошибочных посылках, и их анализ несомненно имели большое значение для науки. Неудивительно, что Бенедетто Кастелли, который в 1628 г. выступил с работой о влиянии скорости на расход воды, рекомендовал переиздать трактат о наблюдениях Фонтаны.

Заключение

Конец XVI в. ознаменовал завершение определенной эры в истории гидрологии. До этого времени считалось, что величина расхода воды в открытом русле или в трубах равняется площади живого сечения потока. Если бы гидрологи того времени прибегли к помощи математической формулы, она выглядела бы так: $Q = A$. Так же думал многими веками раньше Фронтин, а это свидетельствует о том, что методика определения расхода потока не изменялась на протяжении более чем пятнадцати веков. Правда, и Герон, и Леонардо да Винчи правильно понимали это явление, но, к сожалению, их высказывания по этому вопросу, по-видимому, остались незамеченными.

Гидрологическим трудам Леонардо и Палисси присуща одна общая особенность: они не оказали непосредственного воздействия на развитие науки.

Заметки Леонардо вообще были неизвестны, а работы Палисси, написанные на французском языке, вероятно именно поэтому не привлекали внимания даже после их опубликования. Можно спорить о самостоятельности суждений Леонардо и Палисси, но одно не вызывает сомнений: в области гидрологии они были самыми яркими фигурами своего времени.

Первоначально Леонардо принял античную и средневековую концепцию о том, что при нагревании выделяется энергия, заставляющая пары подниматься, и она привела его к ошибочной гипотезе о происхождении рек и источников, но в конце концов он достиг некоторых положительных результатов. Особенно выделяются его толкование неразрывности потока воды и замечательные эксперименты по определению скорости течения воды в различных частях открытого потока.

В заслугу Палисси следует поставить его трактовку происхождения рек, ручьев и артезианских колодцев и его высказывания о гидротехнических работах. И Леонардо, и Палисси были сторонниками экспериментального метода, но оба иногда принимали на веру «бабьи сказки». Этих ученых, конечно, не следует так возносить, как это делают некоторые их поклонники, но заслуги их перед наукой значительно больше, чем утверждают иные скептики.

Эту главу лучше всего закончить следующей цитатой из Леонардо да Винчи:

«Мудрость — дочь опыта... Никакие человеческие знания не заслуживают названия науки, если они не подтверждены математическими доказательствами. Если же вы утверждаете, что могут быть истинные знания, возникающие и окончательно складывающиеся лишь в сознании человека, то с этим не только нельзя согласиться, но надо оспаривать по многим причинам. И прежде всего потому, что в подобных умственных упражнениях не участвует опыт, а без него ничто само собой не достигает достоверности».

Введение Очень часто историки называют семнадцатый век «колыбелью современной науки», ибо скудные в начале этого столетия знания к концу его чрезвычайно возросли. Вклад XVII в. в науку производит внушительное впечатление: механика Галилея, астрономия Ньютона и Кеплера, открытие Гарвеем принципов кровообращения, геометрия Декарта, микроскоп Ван Левенгука и Гука и, наконец, — последнее по счету, но не по важности — экспериментальные исследования Перро, Мариотта и Галлея, обосновавшие теорию круговорота воды. Это было время ниспровержения Аристотеля и коренных изменений в мышлении человека: вместо теологических воззрений предшествующих веков в нем воцарилась экспериментальная философия.

Аристотель утверждал, что «все люди по природе своей жаждут знать», но потребовалось еще две тысячи лет, чтобы Иоганн Кеплер сказал: «Знать — значит измерить».

В этой главе рассмотрены достижения в области гидрологии ученых XVII в., кроме Пьера Перро, Эдма Мариотта и Эдмунда Галлея. О них пойдет речь особо.

Галилей, Кеплер и Декарт

Галилео Галилей (1564—1642) в начале жизни был привержен традиционной схоластике аристотелевских теорий, но вскоре от нее отказался. В 1585 г. он начал производить эксперименты с целью проверки доктрин Аристотеля и к 1590 г. доказал ошибочность некоторых из них.

Для развития непосредственно самой гидрологии Галилей сделал немного, но его подход к науке оказал глубокое воздействие на все области знания, в том числе и на гидрологию. Ученики Галилея, Бенедетто Кастелли и Эванджелеста Торричелли, многое позаимствовали у своего учителя.

Немец Иоганн Кеплер (1571—1630), современник Галилея, ученый, весьма склонный к мистицизму, был фактическим основателем научного гелиоцентризма. Его работы в какой-то мере способствовали развенчанию Птолемея, точно так же как опыты Галилея поколебали авторитет Аристотеля. В кеплеровской модели Вселенной было что-то от Платона и Пифагора. В начале XVII в. теория о том, что Земля — это живое существо или, во всяком случае, функционирует как живое существо, пользовалась известной популярностью, и в числе ее сторонников был Кеплер. Она находила приверженцев вплоть до XIX в. Отзвуки этой теории можно найти в работе Кеплера «Гармонии мира», опубликованной в 1619 г., где говорится:

«Земной шар содержит циркулирующую жизненную влагу. В нем, как и в одушевленных телах, происходит процесс ассимиляции. Каждая его частица живет. Он обладает инстинктом и волей, даже в самых элементарных своих молекулах, которые притягивают и отталкивают друг друга сообразно своим симпатиям и антипатиям. Каждый вид минерала способен умножать свою массу, перерабатывая огромные количества вещества, как мы перерабатываем пищу в мясо и кровь. Горы — это органы дыхания земного шара, а трещины в них — его органы выделения. Они разлагают морскую воду, в результате чего возникают вулканические извержения. Жилы в горных породах — это гнойники или нарывы в царстве минералов, а металлы — продукты гниения и заболевания, почему почти все они имеют такой дурной запах».

Земля поглощает морскую воду, переваривает ее и усваивает. Конечный продукт этих физиологических процессов выделяется через источники.

Рене Декарт родился в 1596 г. в Лаэ (Турень), в семье юриста. Учился он сначала в Иезуитском колледже в Лафлеше в Анжу, потом изучал юриспруденцию в университете в Пуатье и

...кончил курс наук в 1616 г. Он много путешествовал по Европе и встречался с выдающимися учеными. В 1629 г. Декарт расстался с кочевой жизнью, для того чтобы разработать новую философию, свободную от влияний доктрин античности. Он решил, что сможет спокойно заниматься науками в Голландии, где в это время была мирная обстановка. Правивший страной штатгальтер принц Фридрих Генрих славился религиозной терпимостью, довольно необычной для его времени. В 1637 г. Декарт опубликовал книгу «Рассуждение о методе» и три примыкающих к ней трактатов: «Диоптрика», «Метеоры» и «Геометрия». Умер Декарт в Стокгольме в 1650 г.

Подобно Геродоту и Бэкону, Декарт считал, что ему следует заниматься всеми отраслями знания, но находил особое удовлетворение в занятиях математикой. Главный его труд из имеющих отношение к гидрологии — трактат «Метеоры». Он пытался объяснить явления природы естественными причинами, выделив их таким образом из сферы таинственного и чудодейственного, и хотя его толкования не всегда были верны, это не умаляет заслуг ученого.



Рене Декарт.

После трактата «О метеорологических вопросах» Аристотеля «Метеоры», очевидно, наиболее самостоятельная работа на эту тему. В ней Декарт пытается объяснить различные метеорологические явления с «научной» точки зрения. Правда, эта книга не достигает того высокого уровня, на котором находятся работы Декарта по математике или оптике, но тем не менее и она представляет собой значительный вклад в науку. По мнению Декарта, чтобы понять различные природные явления, необходимо знать структуру воздуха, воды и земли, а также находящихся на ней тел. Они состоят из бесчисленного множества мельчайших частиц различных размеров и форм, неплотно прилегающих друг к другу. Расстояния между ними заполнены тончайшим «легким веществом». Вода состоит из длинных, гладких частиц, легко отделяемых одна от другой, поскольку они не сцеплены. В отличие от воды, воздух и другие тела имеют очень непостоянный состав. Если вокруг основных частиц большие расстояния, заполняемые легким веществом, материя становится очень разреженной и легкой, подобно воздуху или маслу. Даже образование льда и расширение воды при замерзании Декарт объяснял наличием легкого вещества. Он, однако, иногда повторял «бабы вымыслы»:

«По опыту мы знаем, что если воду подержать над огнем, она замерзает быстрее обычного; причина этого в том, что те ее части, которые легче всего деформируются и сминаются, при нагревании улетучиваются и остаются только наиболее твердые части».

Если бы Декарт произвел самый простой опыт, он бы, несомненно, убедился в ошибочности этой средневековой концепции. То, что он этого не сделал, говорит, видимо, о том, что Декарт не был совершенно чужд догматических воззрений.

Процесс испарения Декарт объяснял наличием легких веществ, которые под влиянием солнца или других причин приходят в движение. Легкие вещества, в свою очередь, приводят в движение тела, в которые они заключены. Частицы отделяются и возносятся вверх — не в силу своей естественной склонности или даже притяжения солнца, а просто потому, что они находятся в движении, которое может быть направлено только вверх. Ветер, дующий на море и на суше, возникает из-за

расширения паров, которые имеют тенденцию двигаться туда, где больше пространства. Когда расширившиеся пары, сжимаясь, уплотняются, образуются облака и туманы. При охлаждении частицы пара теряют свою подвижность, в результате чего образуются капли воды или ледяные кристаллы. Поскольку данный объем имеет наименьшую поверхность при шарообразной форме, водяные капли обычно принимают форму шара. Их форма может меняться под воздействием других сил, например сопротивления воздуха при выпадении дождя. Отдельная капля воды остается в воздухе во взвешенном состоянии, но стоит нескольким каплям соединиться, как увеличившийся вес заставляет их в виде дождя или росы падать на землю.

Образование снега и инея Декарт объяснял иначе. Снежинки, представляющие собой расширившуюся замерзшую воду, не тяжелы, а потому обычно не падают на землю. Но иногда, в силу определенных условий, например расширения воздуха над облаками, они опускаются вниз. Если в результате соприкосновения с теплым воздухом они тают, выпадает дождь; если этого не происходит — выпадает снег; если же, растаяв, они встречаются на своем пути холодный ветер, образуется иней.

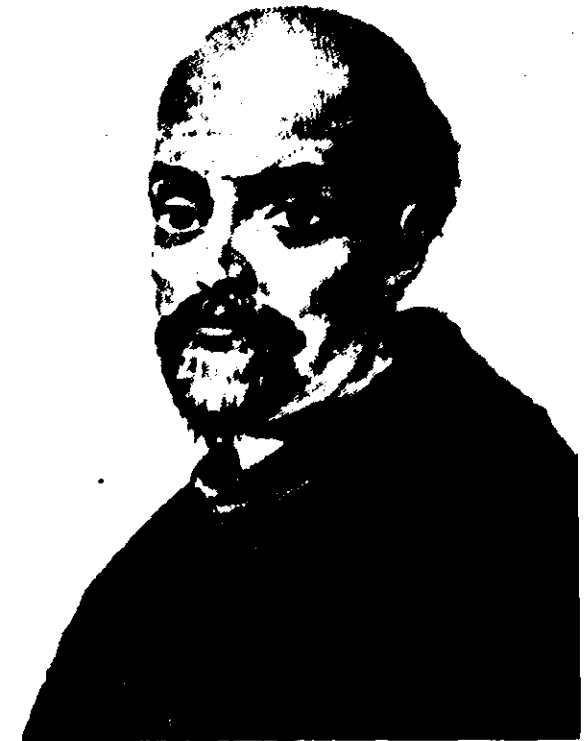
Декарту принадлежит странная, мягко выражаясь, теория происхождения рек и источников, продержавшаяся тем не менее почти два века. Он утверждал, что по сети подземных русел морская вода распространяется в разные стороны, пока не достигнет больших пустот у подножия гор. Здесь под влиянием внутреннего тепла земли происходит испарение воды и содержащаяся в ней соль (слишком «грубая» и тяжелая) осаждается. Пары поднимаются к своду пещеры, где более низкая температура заставляет их превращаться в воду, в виде потока вытекающую на поверхность земли. Как это ни удивительно, Декарт нигде не пишет, что же происходит с огромными залежами соли, которые должны были бы образоваться согласно его теории. Вероятно, в «Метеорах» наибольшую честь делает автору раздел о радугах, глубокий по содержанию и хорошо написанный по форме, но он не имеет непосредственного отношения к гидрологии.

Кастелли о вычислении расхода воды в потоке

Бенедетто Кастелли (1577—1644) родился в Брешии. Еще юношей он вступил в бенедиктинский монастырь в Монте-Кассино. Следует напомнить, что этот город и без того занимал бы почетное место в истории гидрологии, ибо именно там сохранился для потомков уникальный труд Фронтинана. Кастелли был

учеником Галилея и впоследствии стал одним из наиболее преданных его друзей. Когда теории Галилея по гидростатике подверглись критике, Кастелли решительно выступил в их защиту.

Кастелли был придворным математиком папы Урбана VIII и преподавал математику в университетах Рима и Пизы. В предисловии к своей книге «Об измерениях текучих вод», изданной в 1628 г., Кастелли сообщает, что папа приказал ему обратить свои мысли к движению воды в реках — теме сложной, чрезвычайно важной и никем не изученной. Учитель Кастелли — Галилей — когда-то сказал: «Мне легче изучить движение спутников Юпитера, чем течение воды в потоке». Неудивительно, что когда работа Кастелли вышла, его учитель назвал ее «золотой книгой».



Бенедетто Кастелли.

Главный вклад бенедиктинского монаха в гидрологию — ясное объяснение соотношения между скоростью течения и расходом воды. Правда, на это соотношение указывали Герон и Леонардо да Винчи, но их выводы остались в то время незамеченными. В книге Кастелли вновь излагается — и более убедительно, чем прежде, — принцип неразрывности потока воды, благодаря чему Кастелли часто называют отцом итальянской школы гидравликов. Он излагал этот принцип таким образом:

«В различных частях одной и той же реки или одного и того же потока в равное время проходит равное количество воды, и это справедливо даже в том случае, если в различных частях одной и той же реки скорость движения воды разная; из этого неизбежно вытекает, что там, где река обладает меньшей скоростью, сечение ее русла больше, а где ее скорость больше — сечение русла меньше; в итоге скорость различных частей этой реки всегда обратно пропорциональна ее размерам».

Из этой теории Кастелли вывел пять аксиом:

Аксиома I. При равной площади поперечного сечения и равной скорости в равное время протекает равное количество воды.

Аксиома II. Сечения с одинаковой скоростью течения воды, пропускающие равное количество воды за равное время, должны быть равны.

Аксиома III. В равных сечениях, пропускающих равное количество воды за равное время, скорости течения должны быть равны.

Аксиома IV. При неравных сечениях, но при равной скорости течения количество воды, проходящей через первое сечение, и количество воды, проходящей через второе сечение, будут соотноситься, как сами площади сечения. Это очевидно, ибо при равной скорости количества протекающей воды будут изменяться в соответствии с изменениями площади сечения.

Аксиома V. При равной площади сечений, но при неравных скоростях течения, количество воды, проходящее через первое сечение, будет относиться к количеству воды, проходящему через второе сечение, как скорости воды в этих сечениях. Это тоже очевидно, ибо при равных сечениях различие в количестве проходящей воды зависит от скорости ее течения.

Кастелли резко критиковал работу Фонтаны за то, что в ней дается ошибочное понятие расхода как $Q=A$. Он указал, что поскольку Фонтана не учитывал скорость потока, его рекомендации о расширении русла реки для защиты от разливов не могут быть правильными.

Очень трудно проверить, насколько работы Кастелли самостоятельны. Вполне возможно, что он был знаком с хранившимся в Ватикане собранием записок Леонардо и, следовательно, находился под их сильным влиянием. В этой связи примечательно, что, говоря о проблеме истечения воды, Кастелли, как это будет видно из следующего раздела, делал ту же ошибку, что и Леонардо, хотя, по сути дела, это ничего не доказывает. Ломбардини, например, считал, что пытаться уличить Кастелли в плагиате — задача «чрезвычайно трудная» [1]. В заключение своей работы Ломбардини пишет:

«Гидравлическая наука, несомненно, была создана Леонардо, но верно и то, что до семидесятых годов XVI в. ломбардские строители не могли пользоваться его трудами, ибо в них отдельные мысли, относящиеся к гидравлике, были разбросаны в самых неожиданных местах и сформулированы так, что понять их было нелегко. Кастелли, очевидно, познакомился с ними через шестьдесят или семьдесят лет после смерти Леонардо, так как, хотя он и утверждал, что вывел эти положения экспериментальным путем, по форме и терминологии они чрезвычайно напоминают записи Леонардо».

С другой стороны, Поггендорф [2] утверждает, что в своей книге Кастелли первым из исследователей правильно сформулировал законы движения воды в реках и каналах. Вполне возможно, что Кастелли и в самом деле был совершенно свободен от влияния Леонардо. По-видимому, его не следует называть плагиатором, по крайней мере пока не будут получены убедительные доказательства его вины. Во всяком случае никто не отрицает, что он оказал гидрологии большую услугу, внеся столь нужную поправку в формулу расхода воды.

Кроме того, Кастелли изготовил первый в Европе дождемер, но подробнее мы расскажем о нем в главе 11.

Закон истечения жидкости

Еще со времен Фронтинна было известно, хотя и в самом общем виде, что количество воды, вытекающей из отверстия на дне сосуда, зависит от давления столба воды над ним. Проблема

истечения жидкости не была окончательно решена до начала XVII в. Характерно, например, что Галилей при своих опытах измерял время по весу воды, вытекшей из большого сосуда с отверстием на дне. Он и его сын пытались сделать водяные часы, но безуспешно, так как они исходили из ложной посылки. Возможно, что именно неудача Галилея с водяными часами возбудила в Кастелли интерес к проблеме истечения воды, но и он успел немного. Кастелли был уверен, что скорость воды находится в прямой зависимости от высоты столба воды. Справедливость требует признать, что дальше этого он не пошел. Проблема была разрешена Эванджелистой Торричелли (1608—1647), которому некоторые исследователи приписывают изобретение барометра. Торричелли первым заявил, что скорость истечения зависит от корня квадратного напора. Однако основное для теории истечения уравнение $V = \sqrt{2gh}$ было выведено только около 1738 г. Для этого следовало определить величину g , которую только в 1673 г. нашел Христиан Гюйгенс (1629—1695), поэтому фактически уравнение было получено лишь в 1748 г. отцом и сыном Бернулли. Среди других исследователей, теоретически и экспериментально разрабатывавших эту проблему, заслуживают упоминания Маджотти, Маклорен, Полени, Ньютон, Гульельмини, Гранди, Мариотт и Микелотти. Фризи сделал удачный обзор исследований закона истечения воды примерно до середины XVIII в. [3, 4].

Атанасиус Кирхер

Немецкий иезуит Атанасиус Кирхер (1602—1680) был профессором Вюрцбургского университета и автором ряда увесистых трактатов по многим вопросам. Его книга «О магнитах и магнетизме» была издана в Риме в 1641 г., а самая важная его работа, «Подземный мир», вышла в 1664 г. Судя по обеим книгам, Кирхер обладал незаурядной фантазией. Достаточно сказать, что в его книге о магнитах имелся раздел о любовном магнетизме. Во второй книге Кирхер говорит обо всем, что происходит внутри Земли, в том числе и о зарождении рек и источников. В XVII в. «Подземный мир» стал распространенным учебником геологии. В вопросе происхождения рек Кирхер не смог полностью освободиться от многовекового влияния церкви. Начинает он с основного положения, заимствованного из библейского «Екклесиаста», а именно, что реки черпают свой запас воды из моря. Теорию Аристотеля о превращении воздуха в воду Кирхер считал довольно смехотворной. Это не помешало ему частично воспользоваться идеями стагирита при разработке собственной теории.

Он утверждал, что внутри всех высоких горных хребтов имеются большие гидрофилаксии (обширные пустоты, или полости, содержащие воду), созданные всевышним в его великой мудрости при сотворении мира. Из этих пустот в различных частях мира вытекают реки, чтобы человек мог использовать их для судоходства и орошения полей. Поскольку запасы воды в гидрофилаксиях не безграничны (как это признается и платоновской концепцией Тартара), Кирхер был вынужден искать объяснения, откуда они пополняются. Вскоре он его нашел в одном из сти-



Атанасиус Кирхер.

хов «Екклезиаста»¹. Правда, две важные проблемы оставались для иезуита неясными, и, надо отдать ему должное, он правильно их поставил, хотя решение нашел ошибочное. Все же он превзошел своих более знаменитых предшественников, которым даже не приходила в голову мысль об этих трудностях. Они сводились к двум вопросам: как осуществляется связь между гидрофилакией и морем и каким образом морская вода поднимается со своего первоначального уровня на более высокий. Кирхер считал, что на эти вопросы можно ответить, причем доступным для всех способом, ибо «нет человека столь тупого, чтобы он не согласился бы, как говорится, хоть на четвереньках следовать за ходом моей мысли». Разрешить первую проблему было сравнительно легко. Кирхер решил, что морская вода поступает в гидрофилакии через отверстия на дне океана. На рис. 25 представлена схема гористой местности вблизи моря. Завихрения показывают местоположение отверстий на морском дне, через которые вода поступает по подземным каналам в пустоты (полости) в горах, откуда берут начало реки. Реки выносят воду обратно в моря, завершая гидрологический цикл, каким его представлял себе Кирхер. На схеме подземные каналы обозначены темным цветом, а реки — светлым. На рис. 26 показан поперечный разрез горы с полостью, в которую по подземным каналам поступает морская вода.

Чтобы объяснить, как вода может течь вверх (например, из моря к вершинам гор), Кирхер прибег к описаниям различных механических способов подъема воды, иллюстрируя их сложными диаграммами. Остановимся вкратце на трех из них. Первый способ состоял в применении пары двойных мехов, приводимых в действие водяными колесами, второй — в применении U-образной трубки, заполненной водой, у которой одно колено короче другого. Отверстие более короткого колена следовало закрыть эластичной диафрагмой. При нажатии на нее вода в другом колене трубки подымалась. Третий вариант предусматривал поднятие воды при помощи вакуума. Кирхер проверил на опыте все три способа, чтобы убедиться в их действенности. После продолжительных поисков он нашел и в природе пример аналогичных процессов: приливы, образуемые в море притяжением Луны, заставляют часть воды подниматься выше другой. При этом создается необходимая разница давлений, как явствует из опыта Кирхера с U-образной трубкой. Это объясняло, почему вода проникает в отверстия на дне моря и как она попадает на вер-

¹ «Все реки текут в море, но море не переполняется; к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь» (Екклезиаст, гл. I, стих 7). — *Прим. ред.*

шины гор. Сильные ветры также оказывают давление на поверхность океана и способствуют тому, что вода проходит по подземным каналам, созданным богом по его великой мудрости (точно так же, как вены и артерии в теле человека, т. е. в микрокосме, служат цели, для которой созданы).

Кроме того, вода поднимается на более высокий уровень под действием огня. По мнению Кирхера, подземный мир представляет собой

«искусно построенный дом с отчетливо выраженными комнатами, погребями и кладовыми, хорошо и мудро пригнанными друг к другу, а не, как думают многие, беспорядочное нагромождение или хаос камней, кирпичей, бревен и других материалов, подобный которому можно лицезреть на развалинах старого дома или при постройке нового».

Пустоты и полости в земле заполнены либо огнем, либо водой, причем те, что заполнены огнем, непосредственно связаны с главным очагом огня. Если огонь находится близко к поверхности земли, он может вырваться наружу в виде вулкана, а если глубоко под землей, то он нагревает воду в ближайшей полости, если, конечно, таковая есть поблизости. Вода превращается в пар, пар выходит на поверхность, здесь снова становится жидкостью и так образует горячие источники. На рис. 27 показаны горячий и холодный источники, начала которых находятся близко одно от другого. К рисунку Кирхер дал очень простое пояснение: горячий источник А образуется благодаря тому, что подземный канал L проходит над заполненной огнем полостью S, тогда как в источнике В вода холодная, ибо поблизости нет огня. Если после нагревания, как в случае с источником А, вода проделывает длительный путь, пока не выйдет на поверхность земли, то по дороге она охлаждается и изливается на поверхность в виде холодного источника.

Образование минеральных источников, по Кирхеру, иллюстрирует рис. 28. Качество воды в источниках, выходящих из общей гидрофилакии А, зависит от того, залежи каких минералов они встречают на своем пути. Источник Н, например, проходит сквозь породы, содержащие серу, и становится сернистым источником, а в источнике В вода пресная, ибо он не соприкасается с растворимыми веществами.



Рис. 25. Происхождение рек и источников, по А. Кирхеру.



Рис. 26. Полость в горе, заполняющаяся морской водой, по А. Кирхеру.

Кирхер проявлял несомненный интерес к подземным водам, к происхождению рек и источников, но, к сожалению, основные его концепции были ошибочны.

Шотт и Бехер

Краткое изложение взглядов Кирхера впервые было опубликовано в 1656 г. Через три года другой иезуит, Гаспар Шотт (1608—1666), также занялся, причем довольно досконально, вопросом о происхождении рек и источников. Он не согласился с Кирхером и истолковал упомянутый стих из «Екклезиаста»¹ в соответствии со своими воззрениями:

«Мы того мнения, что некоторые источники и реки происходят от скоплений под землей воздуха и паров, которые сгущаются и превращаются в воду. Другие же реки возникают от дождей и снегов, просачивающихся в землю. Но наибольшее число рек и самые крупные из них образуются из морской воды, поднимающейся по подземным каналам и выходящей наружу в виде постоянно текущих рек...

...Из стиха 7 главы I Екклезиаста вовсе не следует, что некоторые реки не вышли из моря иным путем. Я поэтому твердо убежден и снова повторяю, что не все реки берут начало в море, по крайней мере не все прямо из океана выходят в недра земли, а оттуда по подземным каналам достигают своих верховий» [5].

Иоганн Иоахим Бехер (1635—1682) был одним из наиболее известных алхимиков XVII в. Он считал, что в центре Земли имеется огромное пространство полусферической формы, где самовозгорание сернистых и битуминозных веществ создает исключительно высокую температуру. Морская вода через различные трещины просачивается в огнедышащий центр и здесь испаряется. Пары проникают сквозь земную кору и поднимаются к вершинам гор, там конденсируются, снова превращаются в жидкость и образуют источники и реки. Следовательно, теория Бехера несколько напоминает взгляды Декарта. Разница лишь

¹ См сноску на стр. 136.— *Прим. ред.*

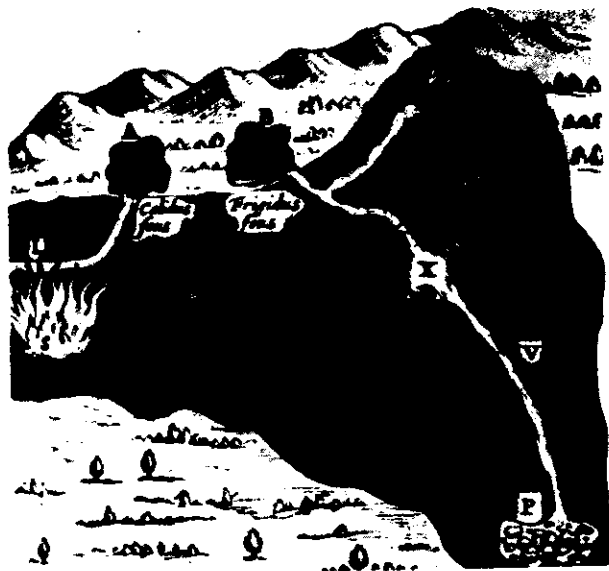


Рис. 27. Образование горячих и холодных источников, по А. Кирхеру.

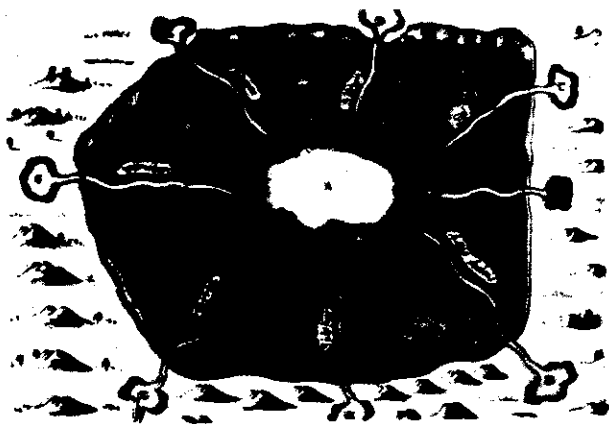


Рис. 28. Происхождение минеральных источников, по А. Кирхеру.

в том, что, по мнению алхимика, испарение воды происходит в центре Земли, а по убеждению Декарта — в пустотах у подножий гор.

Все эти теории, весьма популярные на протяжении XVI и XVII веков, основаны на принципе действия перегонного куба. До их появления было принято считать, что соленая морская вода проходит по очень узким трещинам, не пропускающим соли, которая поэтому осаждается. Когда было обнаружено, что из морской воды соль можно выделить только путем перегонки (а не фильтрации), начала распространяться новая теория перегонного куба.

Бернхард Варениус

Бернхард Варениус родился в 1622 г. в Ганновере, изучал медицину в Кёнигсберге и Лейдене. После этого он поселился в Амстердаме, где написал две книги: «Описание Японского государства» и «Всеобщая география»*, изданные соответственно в 1649 и 1650 гг. Варениус был самым известным географом своего времени, его идеи более ста лет оказывали влияние на развитие географической науки. Он дожил всего лишь до 28 лет и в 1650 г. умер в Лейдене.

Теория Варениуса о происхождении рек и источников представляет собой классический пример компромиссного решения. Он считал наиболее разумным признавать справедливость гипотезы о морской воде, но не исключал и значения двух других факторов — осадков и превращения воздуха в воду. В пользу гипотезы о морской воде он приводил два положения: во-первых, реки приносят в море огромное количество воды. Раз море не увеличивается в объеме, значит морская вода просачивается из моря в землю, а оттуда выносится к истокам рек. Это подтверждается и наблюдениями: ведь чем ближе река подступает к морю, тем более солоноватая в ней вода. В некоторые соленые источники морская вода поступает по прямым подземным каналам, вытекающим из моря. Во-вторых, только теория круговорота морской воды объясняет наличие воды на большой глубине, например в шахтах, куда она не может попасть в результате выпадения осадков или превращения воздуха в жид-

кость. Последнее, по сути дела, было переименованием теории Сенеки.

Однако еще оставалось объяснить, каким образом вода достигает истоков рек и становится по пути пресной. По этому поводу Варениус писал:

«Поскольку дно моря не целиком каменистое, а кое-где покрыто песком, гравием или илом, то оно впитывает морскую воду и пропускает ее внутрь земли (то же самое происходит, когда мы льем воду на песок, бобы, горох или другие сыпучие вещества), и по расщелинам в ней вода постепенно уходит далеко от моря, и там со временем маленькие капли соединяются, особенно в возвышенных местах, какими являются горы, и, найдя подходящее русло, появляются на поверхности земли в виде источников».

Ответить на второй вопрос было труднее, так как при просачивании или фильтрации вода не освобождается от соли. Между тем, осадки, выпадающие над океаном, всегда состоят из пресной воды (в других работах Варениус писал, что дождь иногда бывает солоноватым). Значит, природа сама знает способ опреснить морскую воду. Но если она может делать это с осадками, то почему то же самое не может происходить и с водами, просачивающимися в землю? Возможно также, что соленая вода соприкасается с большим количеством пресной и разбавляется в ней, а потому обнаружить ее соленость нелегко.

Варениус, однако, не соглашался с тем, что причиной ежегодных разливов Нила является нагон морской воды, и поддерживал плювиальную теорию разливов.

Вклад в гидрологию английских ученых

Вкладом английских ученых в развитие гидрологии XVII и XVIII вв. явились экспериментальные исследования испарения Эдмунда Галлея и разработки конструкции дождемеров Кристофера Рена и Роберта Гука. Об этих работах говорится соответственно в главах 10 и 11. За исключением этих ученых, английская наука сделала для гидрологии меньше, чем для других отраслей знания.

Английский естествоиспытатель Джон Рей (1627—1705) прославился в первую очередь классификацией растений (способствовавшей развитию систематики растений), но предложенная им теория гидрологического цикла также заслуживает внимания. Рей утверждал, что солнце притягивает пары с земли и мо-

ря, ветер же гонит пары с моря на сушу, где они выпадают в виде дождя. Дожди питают реки, и их взаимосвязь выявляется во время паводков. Реки ежегодно уносят в море огромное количество воды, завершая таким образом круговорот воды. Рей не поддерживал гипотезу о подземной бездне. «Надеюсь,— говорил он,— что те, кто выводит источники и реки из великой бездны, не ищут там же паров, которые соединяются в капли и дождем опускаются на землю».

Джон Кейл (1671—1712), «восторженный последователь ньютоновских принципов», был способным математиком и астрономом. Его обоснованные доводы сильно способствовали развенчанию фантастической теории английского теолога Томаса Барнета (1635—1715) о циркуляции воздуха и паров над первоизданной землей. Кейл указал, что земля, лишенная морей, не могла бы насыщать воздух водяным паром.

«Видя море в его теперешнем состоянии, открытое воздействию солнечных лучей, хорошо представляешь себе, что оно дает нам дождь и пары; разве не противно здравому смыслу предполагать, что бездна, заключенная внутри толстой оболочки, может испускать необходимое для такого эффекта количество паров?»

Кейл утверждал, что земля, лишенная моря, была бы не райским садом, как полагал Барнет, а всего лишь пустыней. Кейл не соглашался ни с Джоном Вудвортом, ни с Уильямом Уистонном, считавшими, что реки получают свои запасы воды из подземной бездны. Для Кейла было само собой разумеющимся, что реки образуются благодаря дождям.

«Что же касается рек, то мне представляется совершенно очевидным, что они пополняются благодаря циркуляции высоко над землей паров, притягиваемых солнцем с моря в достаточных, судя по вычислениям, количествах. Ибо не вызывает сомнений, что природа никогда не создает двух различных способов достижения цели, если достаточно одного. Понижение и повышение уровня воды в реках в сухие и дождливые сезоны убедительно свидетельствует о том, что причина возникновения рек — циркуляция дождей и паров над землей. Если бы реки пополнялись пара-

ми, выходящими по подземным каналам и трубам из огненной подземной бездны, то почему бы тогда реки не сохраняли неизменное состояние и при сухой и при влажной погоде, поскольку огонь действует всегда одинаково?

Я знаю, что сторонники теории подземной бездны утверждают, будто на вершинах гор есть источники и ключи, которые вряд ли могли бы пополняться водой за счет надземной циркуляции паров.

Прошу прощения у этих джентльменов, но я не верю в достоверность их сведений; ибо я совершенно убежден, что в указанных ими местах никаких источников нет. В частности, такой образованный и добросовестный наблюдатель природы, как хранитель Ашмолеанского музея мистер Эдвард Ллойд, уверял меня, что, сколько он ни путешествовал по Уэльсу, ему ни разу не удалось увидеть, чтобы источник стекал с вершины горы. Я полагаю, все эти соображения убедительно доказывают, что реки и источники не могут происходить из пара, выталкиваемого подземным жаром из трещин в горах».

Происхождением рек и источников интересовался и член Лондонского Королевского общества Роберт Плот (1640—1696). На рис. 29 изображена предложенная им классификация рек. Плот был знаком с работами Перро (см. главу 10), но не соглашался с ними и поддерживал теорию происхождения рек из морской воды. По его мнению, вода подымается на вершины гор по тонким суживающимся проходам, которые в конце концов превращаются в капилляры. Движение воды от более низкой точки к более возвышенной он объяснял давлением воздуха на поверхность моря: «Точно так же в трубке барометра ртуть подымается благодаря тому, что воздух оказывает давление на поверхность ртути в резервуаре барометра».

Артезианские колодцы Модены

Вероятно, первое правильное объяснение природы артезианских колодцев дал арабский философ, астроном и географ аль Бируни (973—1048). В том же духе, что и он, высказался впоследствии, правда мимоходом, Палисси. Джованни Кассини (1625—1712) и Бернардо Рамадзини (1633—1714) также уделяли большое внимание этому вопросу. Рамадзини, профессор медицинской школы в Модене, в 1691 г. написал книгу о чудодейственных артезианских источниках Модены.

Пытаясь объяснить принцип действия артезианских колодцев, Рамадзини с обезоруживающей откровенностью заявил, что «природа жидких тел столь сложна и запутана, что даже самые изощренные умы никогда не смогут постигнуть ее до конца». В старинном городе Модене

«имеется в изобилии чистейшая вода, которая никогда не иссякает, которую не могут испортить или отвести в другую сторону козни врагов. Дело в том, что под самыми стенами Модены расположен огромный водоем, или назовите его как угодно, откуда город черпает свой неиссякаемый запас воды, причем с самыми незначительными затратами, что является большой редкостью, ибо для добычи этого сокровища (ведь по словам Пиндара, вода — лучшее, что есть на свете) не нужно прилагать большого труда, прокапывать туннели в горах, нанимать множество рабочих, как это бывало в других городах, например в Риме, где, по словам Фронтини, специальные рабочие искали воду, строили акведуки, распределяли ее, наблюдали за водопроводом и несли многие другие обязанности, связанные с водой».

Воды в Модене было так много, что любой житель города мог брать ее из артезианских колодцев, сколько ему захочется, не заручаясь разрешением властей. Чтобы устроить артезианский колодец, обычно вырывали яму глубиной 63 фута, а следующие 5 футов проходили буром. Из проделанного отверстия с большой силой вырывалась вода. По подземным трубам ее подводили к общественным каналам, а они питали большой канал, по которому можно было проплыть на барже из Модены в Венецию. Природу артезианского колодца Рамадзини объяснял так (рис. 30).

«Прежде всего мы можем с уверенностью утверждать, что вода там не стоит, как, скажем, в бочке, а непрерывно движется, и притом довольно быстро. Это ясно из того, что перед тем, как проделывают последнюю скважину на дне колодца, раздается шум бегущей воды... И я полагаю, что там, вероятно, происходит то же, что и в наших городских фонтанах: вода по подземным каналам вытекает из какого-нибудь водоема, расположенного поблизости в горах, где

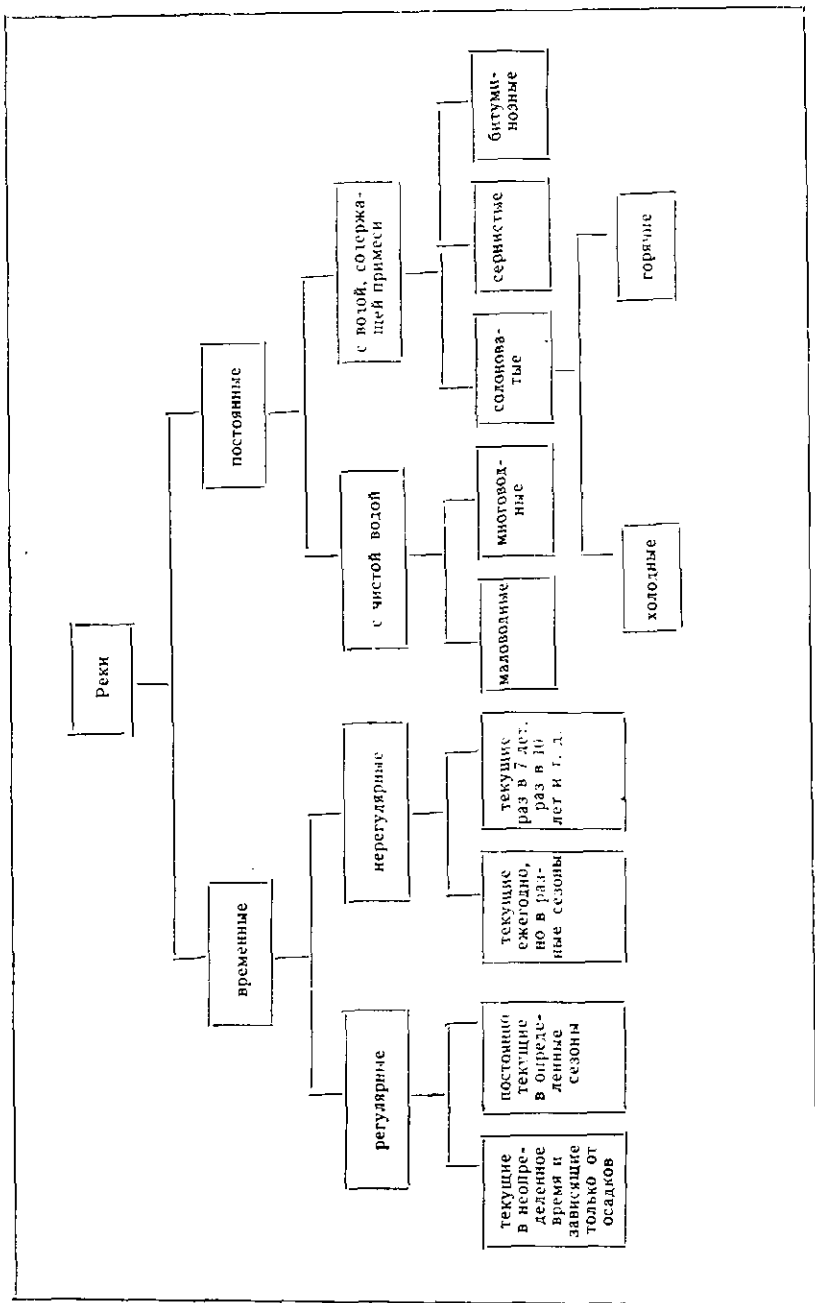


Рис. 29. Классификация рек Р. Плога.

земля твердая и непроницаемая; но, достигнув равнины, она взмывает высоко вверх над песчаным грунтом. На такую же высоту она подымается, согласно законам гидростатистики, когда в земле буром проделывают отверстие...

...Вот несколько примеров того, что при этом происходит, согласно моему объяснению. Предположим, что в недрах Аппенин находится водоем, куда вода поступает из моря. От этого водоема отходят подземные трубы, по которым вода следует к морю или к какой-нибудь пучине. При переходе из водоема в трубы вода вступает в более узкое пространство, чем то, где она находилась прежде. Поэтому, если в любом месте по пути следования потока выкопать колодцы E, F, G, H и пробурить отверстия в их дне, вода обязательно поднимется кверху, ибо сзади будет напирать вода, поступающая из более высокой точки. Таким образом, эти воды получают достаточное пополнение от своих родных Аппенин, как это происходит и со священным источником в Ливане, упоминающимся в священной истории.

Скорее всего в такой водоем поступает морская вода, а не дождевая или талая снеговая, ибо воду от дождей и таяния снегов большей частью уносят реки, текущие по поверхности земли. Ни та, ни другая не могут проникнуть настолько глубоко, о чем свидетельствует и Сенека.

Хотя я исхожу из того, что первоисточник вод в артезианских колодцах — море, я не отрицаю, что многие из них образуются благодаря дождям и таянию снегов; разница

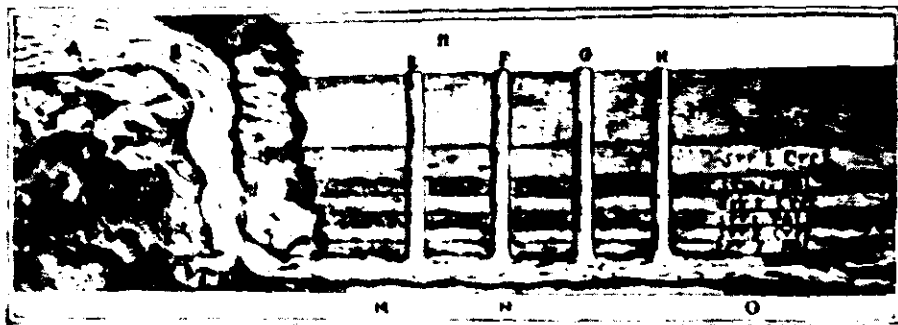


Рис. 30. Принцип действия артезианских колодцев в г. Модене, по Рамадзини.

лишь в том, что источники, выходящие по скрытым подземным каналам из моря, текут постоянно, тогда как те, что образованы ливнями и временными потоками, ослабевают в то или иное время года и даже высыхают совсем. Хотя я считаю источником наших колодцев прежде всего море, а затем водоемы, образующиеся в горах, куда в виде жидкости возвращаются пары, создаваемые заключенным внутри гор жаром, из этого не следует, что эти водоемы находятся на вершине Аппенин. Скорее они располагаются у подножия гор, а не на их вершинах... Но точно я не могу сказать, куда Божественный Зодчий поместил водоем — у подножия гор или внутри их. Я, не жалея ни труда, ни времени, старался найти, где берет начало этот поток, и с этой целью тщательно осмотрел не только равнину, лежащую перед горами, но и самые горы, — и ничего не обнаружил! Я заметил только несколько небольших озер, но таких, которые летом высыхают и превращаются в пастбища для скота; к их числу относится и озеро Паулину, в 25 милях отсюда. Поэтому мне представляется более правильным искать источник этих вод где-нибудь в другом месте, например в каком-нибудь скрытом водоеме во внутренних частях Аппенин. Несомненно, что внутренняя часть этих гор содержит пустоты, а в них скрываются водоемы, откуда и берут начало реки и источники».

Доменико Гульельмини

Итальянский ученый Джованни Доменико Гульельмини пытался разрешить различные проблемы, связанные с течением рек, при помощи натуральных наблюдений. Сделанные им выводы оказали значительное влияние на развитие теории течения воды в открытом русле, причем не только в Италии, но и во всем мире.

Гульельмини, родившийся в 1656 г. в Болонье, занимал кафедру математики в университете родного города. В 1690 г. вышла его книга «Измерение текучих вод новоизобретенным методом». В 1692 г. он стал профессором Болонского университета, параллельно продолжая выполнять функции районного контролера водоснабжения. В 1697 г. был опубликован основной его труд по гидрологии [6], а в следующем году он получил кафедру математики в Падуе. Гульельмини помимо математического получил медицинское образование и фактически никогда не прекращал заниматься врачебной практикой. В последние годы

своей жизни он предпочел преподавать вместо гидрологических наук «теоретическую медицину». Умер он в 1710 г.

Гульельмини, «великий мастер», по выражению Фризи, был человеком практического склада ума, и его исследования касались в основном течения воды в реках и каналах. К концу XVII в. усилиями Каstellи было выведено уравнение неразрывности потока воды, но общие принципы течения воды в открытых руслах еще не были сформулированы. Гульельмини ввел некоторые основные понятия. Он ставил опыты по истечению жидкости с большей точностью, нежели Торричелли и Маджотти, и пришел к заключению, что скорость, с которой вода вытекает из отверстия, пропорциональна корню квадратного напора. Эту же формулу он применил к течению воды у шлюзных ворот и у входа в канал-быстроток. Он утверждал, что:



Доменико Гульельмини.

«Вода, находящаяся на определенной глубине, подвергается давлению верхнего слоя воды в результате силы тяжести и поэтому нижний слой воды перемещается на другой уровень. На практике же это означает, что каждый слой имеет точно ту скорость, которую он приобрел бы, падая с поверхности на то место, где он находится. Таким образом, мы должны признать, что скорость течения воды зависит не только от перепада высоты вдоль наклонного канала, по которому движется вода, но также и от давления, оказываемого верхними слоями на нижние, как это явствует из описанной выше закономерности».

Гульельмини, однако, понимал, что в природе такие условия практически не могут существовать. Поэтому он пришел к выводу, что параболическое распределение скоростей, при нулевой скорости на поверхности воды, может иметь место только в случае идеальной жидкости.

Об основных взглядах Доменико Гульельмини на движение воды в открытом канале можно судить по такому его высказыванию:

«Вода, переходящая из состояния покоя в движение или вытекающая из водоема... двигаясь по наклонному руслу, приобретает определенную скорость, но вскоре в потоке наступает выравнивание скоростей из-за большого сопротивления, которое вода встречает при движении на своем пути... Однако после выравнивания скоростей вода должна сохранить скорость, которую она приобрела вначале, и обычно эта скорость тем больше, чем больше уклон дна...»

Скорость потока будет увеличиваться с увеличением его расхода, ибо относительное влияние сопротивления будет уменьшаться, при условии, что сопротивление остается постоянным. Таким образом, хотя концепции Гульельмини в основном были правильными, они еще не были выражены количественно.

Если логически продолжить рассуждения Гульельмини, пусть не совсем точные, можно, по-видимому, вывести функциональную зависимость между расходом и глубиной. Он утверждал, что скорость пропорциональна уклону и корню квадратному из глубины, а это означало, что расход пропорционален глубине в отношении 3:2. Однако из-за ошибочных рассуждений Гульельмини его теория не получила распространения.

Но заслуга итальянца в том, что он подметил прямую зависимость скорости потока от площади его поперечного сечения и обратную — от его смоченного периметра.

Причина разливов Нила — селитра

Во второй половине XVII в. появилась новая гипотеза о причинах ежегодных разливов Нила. Автором ее, по-видимому, был некий Ванслебиус, проживший несколько лет в Египте, где он внимательно наблюдал это явление. Первоначальную гипотезу Ванслебиуса поддержали и развили Роберт Плот и Н. де ла Шамбр.

Согласно этой гипотезе, за несколько дней до ежегодного разлива Нила в его долине выпадают капли какой-то жидкости, несколько напоминающие росу и вызывающие брожение воды. Авторы теории категорически отрицали, что причиной наводнений могут быть атмосферные осадки, ибо, по их словам, дожди в долине Нила обычно начинаются не раньше 25 июня, а наводнения — с 12-го.

Брожение, вызывающее разлив реки, внешне сказывается в том, что на поверхности воды появляется какая-то зеленоватая пена. Роберт Плот соглашался с Камбраком и Гассенди в том, что брожение вызвано присутствием в воде селитры. Он утверждал, ссылаясь на Ванслебиуса, что разливы Нила не были изолированным явлением, так как во многих частях Египта уровень воды в колодцах повышался «в ту самую ночь и точно таким же образом, как в реке, что, явно не будучи связанным дождями в Хабессии, по-видимому, свидетельствует о том, что повышение уровня воды в реке, по крайней мере отчасти, обусловлено другими причинами, скорее всего брожением воды, которое производит селитра, изобилующая в Египте».

По мнению Н. де ла Шамбра, из-за выпадающих капель нильский ил становится тяжелее, поэтому по его относительному весу в любой год можно предсказать высоту паводка. Эти особые осадки не создают дополнительного заиления, ибо селитра легко улетучивается, так что высота берегов Нила остается неизменной на протяжении более двух тысячелетий (со времен греческого историка Геродота).

Причина или причины происхождения рек были в XVII в. очень популярной темой, и фактически каждый исследователь, занимавшийся в науке более или менее видное положение, высказывался по этому поводу. О некоторых из этих суждений уже говорилось выше, а о наиболее важных из остальных мы вкратце скажем сейчас.

Молина (1536—1609) правильно считал, что причина возникновения рек — атмосферные осадки, которые проникают в земную кору. Риччиоли, однако, возражал ему, что осадки не могут просачиваться глубже чем на 12—15 футов, а на скалистом грунте Перу и Чили и того меньше, но вопреки этому реки там полноводны.

Дж. Риччиоли отвергал теорию подземной конденсации, считая этот процесс слишком медленным. По его подсчетам, одна только Волга приносит каждый год в Каспий такое количество воды, которое могло бы затопить всю землю. Впоследствии Плот использовал этот довод для доказательства собственной теории.

По мнению Риччиоли, всем истинным католикам следовало соглашаться с объяснением происхождения рек, содержащимся в «Екклесиасте».

Я. Добрженски отвергал плювиальную теорию на том же основании, что и Риччиоли, и предложил две другие причины возникновения рек: косвенно этот процесс обуславливается приливами моря, а непосредственно на месте — конденсацией воздуха под землей.

Исаак Восс категорически отверг гипотезу круговорота морской воды. Причиной происхождения всех рек он считал атмосферные осадки. Однако в других вопросах он придерживался довольно нелепых взглядов.

На правильной научной точке зрения стояли Фабри, Бартолинус, Гук.

В трактате «О текучей воде» итальянский ученый Карло Фонтана заявил, что море находится выше самых высоких гор: ведь стоит удалиться на несколько миль от берега, как все следы суши исчезают из поля зрения. Фонтана не учитывал кривизны поверхности Земли! Тем не менее его гипотеза помогла объяснить, каким образом морская вода попадает на горные вершины: в конце концов ей не приходится подниматься выше своего обычного уровня!

Появление измерителей скорости течения

Заслуга изобретения большинства гидрометрических приборов принадлежит Апри Пито и Рейнхарду Вольтману, создавшим в XVIII в. ряд остроумных инструментов для измерения скорости течения воды.

Но первое приспособление такого рода, очевидно, придумал в 1610 г. итальянский врач Санторио Санторио (1591—1630) [7]. Его натолкнули на это весьма курьезные обстоятельства: Санторио решил измерить, при какой скорости вода производит легкий шум, усыпляющий его пациентов, и при какой — наоборот, шумит так, что не дает им заснуть. Для этого он предложил:

«Чтобы точно удостовериться в том, какие причины вызывают то или иное природное явление, часто бывает необходимо измерить с помощью весов давление, возникающее при этих обстоятельствах. По просьбе друзей, желавших посмотреть, как это делается, я изготовил два измерителя, взяв для этого римские весы (безмен), к которым под прямым углом подсоединил пластину. При помощи первого измерителя (в котором пластина обращена вверх) определяется давление ветра, при помощи второго (с пластиной, обращенной вниз) — давление воды; измеритель, определяющий силу ветра, помогает узнать, когда ветер усиливается. Таким образом, мы можем предсказывать штормовую погоду на море и избегать опасностей для кораблей, находящихся в плавании. Во всяком случае, пользуясь этим приспособлением, мы с большей уверенностью можем определять, увеличивается сила ветра или уменьшается. Прочие способы применения этого прибора описаны в книге о медицинском оборудовании. Другой прибор, с пластиной равного размера, но направленной вниз, позволяет измерить давление, оказываемое текучей водой. Это может иметь практическое значение для повышения производительности (водяных) мельниц и для многих других нужд. Пользуясь этим прибором, мы сможем определить, какое давление оказывает благотворное (целебное) воздействие, а какое — вредное. Если порывы ветра или шум воды одной силы действуют целительно, а другой — нет, то каким же еще

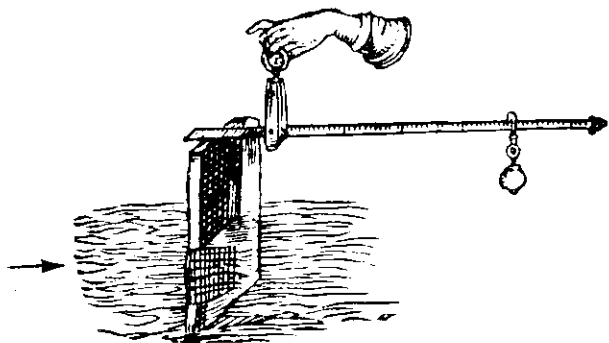


Рис. 31. Измеритель скорости течения Санторио.

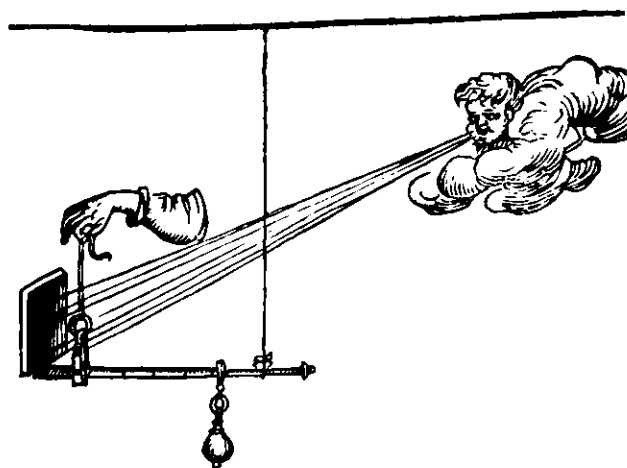


Рис. 32. Анемометр Санторио.

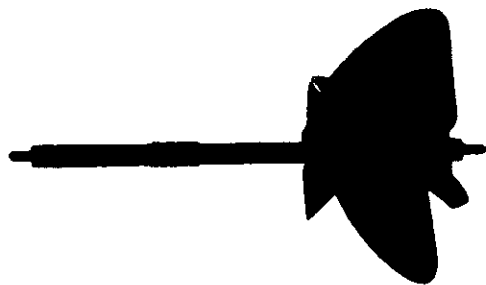


Рис. 33. Модель ротора измерителя скорости течения Роберта Гука (реконструкция А. Фразье).

способом мы можем определять действенность предписываемого лечения?»

Сделанные Санторио наброски обоих инструментов показаны на рис. 31 и 32.

Прибор Санторио измерял только давление воды на пластину, не преобразуя полученные данные в показатели скорости течения. Математические методы для такого преобразования в то время еще не были разработаны.

Роберт Гук, талантливый изобретатель, сконструировал примитивный измеритель скорости течения. В томе VI «Протоколов» Лондонского Королевского общества имеется запись, озаглавленная «Указатель пройденного пути в море»¹ и датированная 28 ноября 1683 г., в которой говорится:

«Я [Р. Гук] представил придуманный мною инструмент и после этого на протяжении 20 лет показывал его некоторым членам Общества. При помощи этого инструмента можно точно измерить путь корабля в море, а также скорость текучей воды в реке, включая ее скорость в различных частях, а следовательно, также количество воды, приносимое любой рекой морю или другой реке».

К сожалению, ни одного наброска измерителя Гука до нас не дошло, но Фразье восстановил его ротор по описанию (рис. 33). Он пишет [8]:

«Вольтман применил тот же способ отсчета оборотов, что и Гук. Если бы Гук построил ротор соответствующего размера и вмонтировал его в такую же раму, что и Вольтман, он, может быть, достиг бы даже лучших результатов».

Заключение

Оглядываясь назад, следует признать, что самым важным достижением XVII в. в области гидрологии (не считая работ Перро, Мариотта и Галлея) было подтверждение и всеобщее признание принципа неразрывности потока. Это заслуга Бенедетто Кастелли, даже если он заимствовал идею неразрывности у Лео-

¹ Иными словами, судовой лаг.— Прим. авт.

нардо да Винчи (что спорно). Благодаря работам Кастелли этот принцип стал широко известен и — что еще важнее — получил признание почти всех исследователей. Оживление интереса к практическим работам по гидрологии и гидротехнике, очевидно, объясняется нуждами ирригации, необходимостью регулирования речных русел и паводков. Строительство гидротехнических сооружений породило многочисленные проблемы, которые могли быть разрешены только при более глубоком проникновении в сущность соответствующих физических явлений. Вероятно, сталкиваясь с такими проблемами, строители того времени обращались прежде всего к греческим и римским авторам, но в большинстве случаев не находили у них ответа на свои вопросы. Им приходилось самим искать решения, а это уже было важным шагом вперед. В XVII в. в области гидрологии подвизались в основном итальянцы — Кастелли, Торричелли, Рамадзини, Гульельмини. Так продолжалось и в XVIII в., когда жили и творили Валисньери, Манфреды, Гранди, Фризи, Полени. Следует особо упомянуть о толковании принципа действия артезианских колодцев Модены, принадлежащем Рамадзини, и о наблюдениях Гульельмини над течением в открытых руслах.

Введение В конце XVII в. почти все видные исследователи принадлежали к тому или иному научному обществу, из которых самыми известными были Лондонское Королевское общество и Парижская Королевская академия наук, основанные соответственно в 1662 и 1666 гг. Совершенно естественно, что оба эти общества публиковали в своих журналах сообщения о новых исследованиях и постепенно приобрели даже больший авторитет, чем многие университеты.

В этот период особенно выделяются три ученых, способствовавших своими работами развитию гидрологии как количественной науки. Все они были связаны, прямо или косвенно, с упомянутыми обществами.

Это — французский естествоиспытатель Пьер Перро, его соотечественник физик Эдм Мариотт и английский астроном Эдмунд Галлей. Они первыми произвели экспериментальные исследования для выявления некоторых основных гидрологических закономерностей.

Мариотт был членом Парижской академии наук, Галлей — Лондонского Королевского общества, оба они играли важную роль в деятельности этих учреждений. Перро, правда, не принадлежал ни к одному из них, но его брат Клод был членом Парижской академии, а физик Христиан Гюйгенс, которому Пьер посвятил свою книгу «О происхождении источников», считался одним из основных деятелей этой Академии.

Эти трое ученых — Перро, Мариотт и Галлей — заложили основы количественной гидрологии.

О жизни Пьера Перро (1608—1680) известно мало. По примеру своего отца он стал юристом, со временем купил должность генерального откупщика города Парижа. Но, на свою беду, он не считал зазорным удовлетворять претензии своих кредиторов за счет казны, был пойман с поличным, и Кольбер находившийся в то время на вершине своего могущества, сместил его. Пьера затмили своей известностью три его младших брата: Никола (1611—1651), прославленный богослов, Клод (1613—1688), врач, ученый и архитектор Лувра, и Шарль (1628—1703), критик и автор детских волшебных сказок. Клод, бесспорно, был одним из выдающихся ученых своего времени, и занимает видное место в истории науки. В 1673 г. он перевел на французский язык труд Витрувия об архитектуре.

Книга «О происхождении источников», посвященная «высокоуважаемому Гюйгенсу из Цюлихема», была издана анонимно в Париже, в 1674 г. [1]. Авторство книги явилось предметом долгих споров, его приписывали то Андре Фелибьену, то Дени Папену, и только под конец — Пьеру Перро.

На рис. 34 изображен фронтиспис издания 1674 г. Сейчас все признают автором этой работы Перро, под его именем она числится в каталоге Британского музея, в Национальной библиотеке в Париже и в Библиотеке Конгресса США. Одним из подтверждений авторства Перро является то, что найден экземпляр книги, подаренный Фелибьену, с надписью «От автора, 23 октября 1674 г.», на котором Фелибьен собственноручно написал имя Перро. Превосходное исследование об авторстве книги принято в статье Дуджа [2]. Первоначально Перро предполагал ознакомить со своей работой только друзей, но они, понимая ее научное значение, уговорили автора издать ее. Перро рассматривает в книге прежние гипотезы ученых о происхождении рек (большой частью он их опровергает) и предлагает произвести экспериментальные исследования для доказательства того, что одних только атмосферных осадков вполне достаточно, чтобы поддерживать речной поток в течение круглого года.

Мысль Перро была очень простой [3]:

«Для достижения нашей цели надо измерить или вычислить количество воды в реке на отрезке от истока до места впадения в нее какого-нибудь ручья и проследить, может ли хватить осадков, выпадающих вокруг ее русла, если их поместить, по выражению Аристотеля, в бассейн, на то, чтобы поддерживать течение реки на протяжении целого года. Я хорошо знаю Сену и очень внимательно исследовал



Рис. 34. Фронтиспис книги П. Перро «О происхождении источников».

ее течение от истока до местечка Энэ ле Дюк, где в нее впадает ручей и увеличивает количество воды в ней, и потому я выбрал этот участок предметом своего исследования.

От истока до Энэ ле Дюк Сена проходит около 3 лиг¹, а склоны ее ложа занимают в обе стороны по 2 лиги и по ним текут другие ручьи, направляющиеся в разные стороны; поскольку эти ручьи для поддержания своего существования нуждаются в атмосферных осадках не меньше, чем Сена, я буду исходить в своих расчетах только из половины этого пространства, то есть буду считать, что водосборная площадь Сены от ее истока до Энэ ле Дюк имеет 3 лиги в длину и две в ширину. Далее я рассуждаю следующим образом:

Если построить бассейн со сторонами такой длины, его площадь составит 6 кв. лиг, или, если перевести в туазы², то, в соответствии с произведенными измерениями, — 31 245 144 кв. туаза.

Допустим, что в течение года этот бассейн получил $19\frac{1}{3}$ дюйма³, атмосферных осадков, что составляет их среднюю годовую величину⁴. Это, по принятому соотношению, равняется приблизительно 224 899 945 мюидам⁵ воды.

Этого количества воды должно быть достаточно для поддержания течения реки от ее истока до означенного места на протяжении года и для восполнения потерь воды, поглощаемой деревьями, растениями, травами, испарением, бесполезным стоком реки и повышением ее уровня во время дождей, ручьями, текущими не в Сену, а по противоположным склонам в другом направлении и для восполнения прочих потерь и утечек.

Что до измерения или вычисления количества воды в начале Сены, то определить его с точностью очень трудно. Тем не менее, насколько я мог судить, постоянно не могло течь в среднем больше 1000 или 1200 дюймов, причем меньше у истоков и больше у Энэ ле Дюк; к этому выводу я пришел при сравнении Сены с рекой Гобелен близ Версаля,

¹ Лига равна 4,828 км.— *Прим. ред.*

² Туаз равен 1,95 м.— *Прим. ред.*

³ Французский дюйм (или пядь) делился на 12 линий и был равен 27 мм.— *Прим. авт.*

⁴ Осадки измерялись в течение трех лет. Перро принял их среднеарифметическую величину.— *Прим. ред.*

⁵ Парижский мюид составлял 24 гектолитра соли или 268 литров вина. Последнее, очевидно, ближе к расчетам Перро.— *Прим. авт.*

имеющей, по данным измерений, 50 дюймов воды; наша же река, по моим подсчетам, имеет в 20 или в 25 раз больше воды, не более того, ибо русло ее составляет в ширину только четыре или пять туазов и глубина ее невелика: судодходство по ней невозможно, и по ней сплавляют только отдельные бревна, которые ниже по течению связывают в плоты.

Исходя из этих предположений и расчетов, я пришел к выводу, что при 1200 дюймах воды в течение 24 часов поступает 99600 мюидов воды из расчета, что на каждый дюйм приходится 83 мюида, или за год 36 453 600 мюидов. Следовательно, река за год проносит меж своих берегов от истока до Энэ ле Дюк всего лишь 364 536 000 мюидов воды. Но если вычесть это количество из 224 899 942 мюидов, собирающихся в нашем бассейне, то еще останется 188 446 342 мюида или, в пять раз больше воды, и это количество и покрывает различные потери и утечки воды, о которых мы говорили.

Следовательно, одной шестой части выпадающих дождей и снегов достаточно для того, чтобы постоянно поддерживать течение этой реки.

Я очень хорошо понимаю, что мои подсчеты неточны. Но кто произвел более точные вычисления? И все же я считаю, что такие подсчеты, пусть даже неточные, лучше отрицательной позиции Аристотеля и всех тех, кто, сам не зная почему, утверждает, что дождевой воды не может хватить для заполнения рек. Может быть, они и правы, но пока кто-нибудь из них не произведет более точных наблюдений и не докажет обратное тому, что доказал я, я буду твердо стоять на своем и довольствоваться слабым светом, пролитым моими несовершенными наблюдениями, за неимением более яркого.

Если же этих вод достаточно для одной реки, то их достаточно и для всех рек мира, поскольку остаток с лихвой восполняет все потери, и я ограничил водосборную площадь всего лишь лигой с каждой стороны реки, что очень мало; обычно водосборная площадь рек бывает шириной не менее 2 лиг. Поэтому можно сказать, что дождевой и талой снеговой воды хватает для того, чтобы заполнить все реки мира».

Перро, однако, не верил в то, что осадки повсеместно просачиваются внутрь земли и пополняют запасы подземных вод. Он всячески старался обнаружить признаки повсеместной инфильтрации, но на основе своих наблюдений пришел все-таки к выводу, что инфильтрация — это явление частное, носящее чисто локальный характер. В начале второй части своей книги Перро противопоставляет свою точку зрения гипотезам Витрувия, Гассенди, Палисси и Франсуа, которые он объединяет под названием «общее мнение». Он отвергает их теории проникновения осадков внутрь земли на том основании, что их не хватило бы на то, чтобы как следует пропитать грунт и наполнить оставшейся на поверхности водой реки и источники. Расхождение Перро с другими учеными можно представить так:
Общее мнение: дождь → просачивание → источники → реки.
Пьер Перро: дождь → реки → источники.

Эдм Мариотт

Эдм Мариотт, один из замечательных людей второй половины XVII в., не принадлежал к блестящей школе гидрологов, существовавшей в то время в Италии. Он как бы предварял своими работами, тогда не имевшими себе равных, XVIII век. К сожалению, мало что известно о жизни Мариотта, даже место и дата его рождения точно не выяснены. Поскольку математик Кондорсе не смог отыскать никаких сведений о жизни ученого всего лишь через сто лет после его смерти, то вряд ли это может удаться теперь, спустя три века. Нам остается судить о Мариотте только по его работам.

По-видимому, Мариотт родился в 1620 г., в Дижоне и там провел большую часть своей жизни. С юности он решил посвятить себя духовной карьере и в 1666 г., когда Кольбер основал Академию Наук, был настоятелем монастыря Сен Мартенсу-Бон близ Дижона. Мариотт стал одним из первых членов Академии и активно участвовал в ее работе, почти не пропуская заседаний. Он очень деятельно занимался научными изысканиями в самых различных областях, а значит, по всей видимости, не слишком много времени уделял своим обязанностям настоятеля. Он представил в Академию работы по многим вопросам, в том числе заметки о звуках трубы, об отдаче огнестрельного оружия, о природе цвета, о движении жидкостей. Однако, наибольшее значение для науки имел закон Бойля — Мариотта, констатирующий, что объем массы газа обратно пропорционален оказываемому на нее давлению.

Работы Мариотта по гидравлике и гидростатике, представленные Академии в 1669 г. и изданные в 1717 г., уже после его смерти, оказали большое влияние на дальнейшее развитие гидравлики и гидрологии. В первые дни болезни, оказавшейся смертельной, Мариотт передал своему другу, ученому Филиппу де ла Гир, рукопись книги «Трактат о движении воды и других жидкостей» с просьбой закончить ее и издать, что тот и сделал с блеском. Книга вышла в свет в 1686 г.

Умер Мариотт 12 мая 1684 г. в Париже, в тот самый год, когда он при помощи экспериментальных исследований убедительно доказал, что источником воды во всех реках и ручьях являются атмосферные осадки. По словам Кондорсе, «мало кто из ученых проявлял столь неподдельную и бескорыстную любовь к истине, как Мариотт». Рюльман в своей книге по механике указал, что Мариотт произвел первые серьезные измерения скорости движения воды [5].

На рис. 35 воспроизведена, вероятно, единственная уцелевшая картина с изображением Мариотта. На ее увеличенной центральной части (рис. 36) изображены четыре выдающихся человека своего времени — Луи Гайян, Эдм Мариотт, Клод Перро и Жан Пеке.

Трактат о движении воды. Книга Мариотта о движении воды и других жидкостей была разделена на следующие пять частей:

- I. Некоторые свойства жидких тел, происхождение источников, причины возникновения ветров.
 - II. Равновесие жидкостей, обусловливаемое их тяжестью, движением и упругостью.
 - III. Текучая вода, движение в струе и ее измерение.
 - IV. Высота перпендикулярной и наклонной струй и ее зависимость от наибольшей скорости воды.
 - V. Передача воды на расстояние и сопротивление в трубах.
- Для гидрологов особый интерес представляют разделы, посвященные причинам возникновения источников (часть I, глава 2), определению скорости текущей воды на поверхности и у дна (часть II, глава 3) и измерению расхода воды в реке или в трубе (часть III, глава 4).

Происхождение источников. Мариотт, возможно под влиянием работы Перро, утверждал, что атмосферных осадков более чем достаточно для образования рек и источников. После выпадения



Рис. 35. Члены Парижской Академии наук за работой в Королевской библиотеке (1671 г.). В центре — Эдм Мариотт (в очках и ермолке).



Рис. 36. Слева направо: Луи Гайян, Эдм Мариотт, Клод Перро и Жан Пеке.

дения осадков происходит их инфильтрация. Когда дождь выпадает на холмах и в горах, он проникает внутрь земли, особенно если грунт песчаный, с примесью гальки и изрезан корнями деревьев. Встречая на своем пути непроницаемый слой глины или скальные породы, вода течет по нему, пока у подножия горы или на значительном расстоянии от ее вершины не найдет точку выхода. Тут она вырывается наружу в виде источника. Мариотт не только доказал с помощью своих опытов, что влаги, выпадающей в виде атмосферных осадков, вполне достаточно для заполнения всех источников и рек, но и продемонстрировал, что увеличение или уменьшение дебита источников непосредственно связано с количеством осадков. Если дождей нет в течение двух месяцев, сток большинства рек уменьшается наполовину, а если дождей нет в течение целого года — большинство рек пересыхает; в тех немногих, которые продолжают течь, расход воды сильно уменьшается.

Мариотт не соглашался с гипотезой о том, что в обширных горных пещерах якобы происходит конденсация паров, и объяснил, почему это невозможно:

«Представим себе, что ABC (рис. 37) — пещера в горе DEF ; очевидно, что если в углублении на поверхности ABC пары превращаются в воду, она будет падать перпендикулярно HGI , а не L или M , и следовательно, не может образовать источника. К тому же отрицают, что в горах

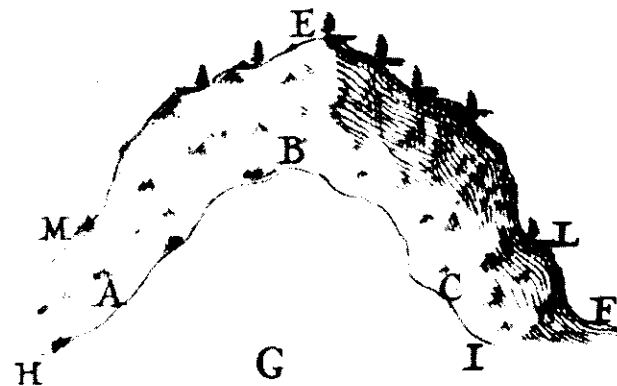


Рис. 37. Схема горной пещеры, по Э. Мариотту.

много таких пещер, и доказать обратное невозможно. Если допустить, что по сторонам и снизу *ABC* — земля, то на это можно возразить, что пары будут вырываться сбоку в направлении *A* и *C* и только ничтожное их количество превратится в воду. А поскольку источники, по-видимому, почти всегда текут по глинистым слоям, вода, якобы образовавшаяся путем конденсации, скорее всего не может просочиться через эти слои, а следовательно, таким способом источники образоваться не могут».

В числе опытов Мариотта, доказывающих, что дождевой воды достаточно для заполнения ручьев и рек, было измерение ежегодного количества атмосферных осадков в Дижоне. Умелые наблюдения, проводившиеся по указаниям Мариотта, показали, что ежегодно выпадает 17 дюймов влаги. Сравнив полученный результат с данными Перро — 19 $\frac{1}{3}$ дюйма, Мариотт принял для своих расчетов заведомо преуменьшенную величину — 15 дюймов.

Вот его вычисления:

15 дюймов осадков в год = 45 куб. футам воды на кв. сажень в год.

Если принять, что 1 лига = 2300 сажень, то количество годовых осадков на квадратную лигу составит: $2300 \times 2300 \times 45 = 238\,050\,000$ куб. футов.

Водосборная площадь реки Сены до Парижа имеет 60 лиг в длину и 50 в ширину. Таким образом, общее количество осадков, выпадающих на водосборную площадь, составляет:

$$60 \times 50 \times 238\,050\,000 = 714\,150\,000\,000 \text{ куб. футов.}$$

Расход воды в Сене был определен около моста Пон-Рояль в Париже. Было принято считать, что ее ширина здесь составляет 400 футов, а глубина, колеблющаяся между 10 и 2 футами, — в среднем 5 футов. Мариотт установил, что, «когда уровень воды достигает своей наибольшей высоты, поплавок, находящийся посередине реки, движется со скоростью быстро шагающего человека, то есть делает 15 000 фут/час, или 250 фут/мин. Скорость воды на середине глубины оказалась равной 150 фут/мин, а поскольку около дна вода движется медленнее, чем в середине потока, а в середине медленнее, чем на поверхности, за среднюю скорость была принята величина 100 футов в минуту.

Площадь поперечного сечения Сены: $400 \times 5 = 2000$ кв. футов;

объем воды, проходящей за минуту: $2000 \times 100 = 200\,000$ куб. футов.

Таким образом, за год около моста Пон-Рояль проходит $105\,120\,000\,000$ куб. футов воды. Это всего лишь одна шестая часть общего количества осадков, выпадающих на водосборную площадь. Если принять годовое количество осадков равным не 15, а 18 дюймам, то объем годовых осадков составит $856\,980\,000\,000$ куб. футов, при той же величине годового стока воды — $105\,120\,000\,000$ куб. футов.

При помощи аналогичных вычислений Мариотт доказал, что годовой дебит большого источника на Монмартре составляет около четвертой части ежегодного количества осадков.

Определение расхода воды. Подобно Леонардо да Винчи и Бенедетто Кастелли, Мариотт применял поплавок для определения скорости течения в открытых каналах. Он предложил использовать в качестве поплавков шар из воска с грузом внутри, который удерживал бы поплавок на определенной глубине, не давая ему подняться на поверхность. При этом Мариотт исходил прежде всего из необходимости свести к минимуму влияние ветра на ход поплавок. Скорость поплавок на дистанции 15—20 футов определялась с помощью полусекундного маятника. Для вычисления расхода Мариотт предложил «умножить ширину потока на высоту слоя воды, а полученное произведение — на путь, пройденный восковым шаром. Последняя цифра, довольно внушительная, и есть количество воды, протекшее за время наблюдения» [4]. Мариотт подчеркивал, что при таком способе вычисления исходят из предположения, что скорость воды на поверхности, у дна и по краям одинаковая. Вероятно, он первым понял, что для получения точных результатов необходимо, чтобы поверхность воды имела такой же уклон, как и русло.

Мариотт привел пример вычисления средней скорости воды в акведуке площадью поперечного сечения 2×1 фут. Поплавок за 20 сек. прошел 30 футов, но так как на поверхности потока скорость воды больше, чем у дна, то следует считать, что средняя скорость движения — 20 футов за 20 сек. Интересно отметить что, во всех своих расчетах Мариотт пользовался средней скоростью, принимая ее равной двум третям поверхностной скорости. Для выражения величины расхода он принял также единицу измерения, равную дюйму, дав ей такое определение: «Количество воды, протекающее через круглое отверстие диаметром

в один дюйм, сделанное в вертикальной стенке сосуда, при условии, что высота столба воды над этим отверстием составляет одну линию» [4].

Величина расхода в акведуке была вычислена следующим образом:

Площадь поперечного сечения акведука $2 \times 1 = 2$ кв. фута.

Расход за 20 сек $= 2 \times 20 = 40$ куб. футов $= 40 \times 35 = 1400$ пинт.

(1 куб. фут $= 35$ пинтам воды.)

Отсюда величина расхода в минуту: $1400 \times 3 = 4200$ пинт $= \frac{4200}{14} = 300$ дюймов.

Мариотт применил спаренные поплавки для доказательства того, что у дна скорость потока меньше, чем на поверхности. Он соединил два восковых шара шнуром длиной 1 фут и наполнил нижний шар камешками таким образом, что он, будучи опущенным в воду, удерживал верхний шар точно вровень с поверхностью воды. Далее он обнаружил, что в реке глубиной 3 фута нижний шар все время отстает от верхнего. Но там, где поток сужался, нижний шар двигался быстрее верхнего. Мариотт объяснил это явление, как показано на рис. 38. Линия $ABCD$ обозначает первоначальный уровень воды. Из-за сужения потока в точке B уровень воды поднимается до пунктирной линии EF . Очевидно, по наклонной плоскости BFC вода будет течь быстрее и благодаря более высокой скорости она будет продолжать движение в направлении GH , а следовательно, в точках G и H скорость будет выше, чем в точках I и D . Вот почему ниже быков моста всегда образуются большие углубления.

Эдмунд Галлей

Эдмунд Галлей, старший сын богатого торговца солью, родился в Лондоне, в 1656 г. Учился он в школе Сент-Пол и в Куинс-Колледже Оксфордского университета, но не закончил его. Первая работа Галлея (на латыни) об орбитах планет была опубли-

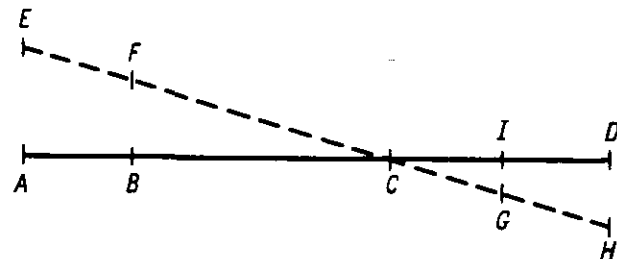


Рис. 38. Влияние сужения потока на уклон, по Э. Мариотту.

кована в Философических трудах Королевского общества, когда ему не минуло и двадцати лет. В ноябре 1676 г. он отправился с одним из своих товарищей по колледжу на остров Святой Елены, чтобы вести там наблюдения за южными звездами. Отец Галлея всячески его поддерживал и морально, и материально. Он выдавал ему 300 фунтов в год — столько, наверное, Галлею никогда не удавалось самому зарабатывать. Выбор молодого ученого пал на остров Святой Елены потому, что это была самая южная из английских колоний. Там Галлей внес в каталог долготу и широту 341 звезды, сгруппировав их по созвездиям. Он также производил многочисленные наблюдения над силой тяжести с помощью маятника и первым проследил прохождение Меркурия через меридиан. После возвращения Галлея на родину



Эдмунд Галлей.

король Карл II предложил Оксфордскому университету присудить ему ученую степень магистра, несмотря на то что он не имел ценза оседлости и даже не сдал экзаменов. В 1678 г., в возрасте 22 лет, Галлей был избран членом Королевского общества.

В августе 1684 г. Галлей встретился с Ньютоном, и они стали друзьями на всю жизнь. На следующий год Галлей отказался от членства в Обществе и стал его научным сотрудником. Этот пост он занимал до 1698 г., когда поступил во флот и возглавил первую английскую экспедицию в Антарктику, имевшую целью изучение айсбергов и образа жизни пингвинов. В 1704 г. Галлей был приглашен в Оксфорд на должность профессора геометрии, а через девять лет стал секретарем Королевского общества. В 1720 г., уже в возрасте 64 лет, он стал вместо Флемстида вторым Королевским Астрономом. В 1729 г. Галлей был избран почетным членом Французской Академии наук. Умер он в 1742 г.

Эдмунд Галлей, несомненно, был разносторонне одаренным ученым. Больше всего он известен своими открытиями в астрономии, геофизике и математике, но круг его интересов охватывал также историю, археологию, навигацию, строительное дело. Он писал стихи на латыни, переводил книги с арабского и греческого, положил начало демографической и судебной статистике и явился одним из основателей экспериментальной гидрологии.

Опыты над испарением. Членов Королевского общества называли в то время «людьми из Грешема», так как они собирались в Грешемском колледже (рис. 39). Здесь Галлей проводил свои известные опыты над испарением. Результаты были опубликованы в четырех выпусках «Философических трудов» Королевского общества в 1687, 1691, 1694 и 1715 гг.

Возможно, что заняться испарением Галлея побудили опыты Перро и Мариотта. Отзывы о написанных ими книгах были помещены в «Философических трудах». Не исключено, что, именно ознакомившись с ними, Галлей решил проследить опытным путем вторую фазу гидрологического цикла, то есть доказать, что при испарении с поверхности океанов и других водоемов образуется достаточно влаги для того, чтобы, выпадая в виде дождя, пополнять реки. Но впервые интерес к явлению испарения пробудился у Галлея на острове Святой Елены, где он производил астрономические наблюдения ночью и, как правило, на возвышенности, на высоте около 2400 футов над уровнем моря. При чистом небе происходила столь сильная конденсация паров, что Галлею приходилось через каждые несколько минут протирать линзы телескопа. Еще больше

его раздражало то, что он не мог как следует записывать результаты своих наблюдений: бумага была столь влажной, что чернила на ней расплывались. Возвратившись из экспедиции, он решил объяснить «великий феномен» равновесия моря, «которое соблюдается с такой точностью, что мы можем быть уверены: за многие века испарение не уменьшило существенно количество морской воды, но море не вышло из берегов, хотя оно получает ежегодно от рек огромное количество пресной воды» [6].

Процесс испарения Галлей объяснял тем, что при нагревании «атом воды» увеличивается в диаметре в десять раз, становится легче воздуха и поэтому подымается вверх. При длительном на-

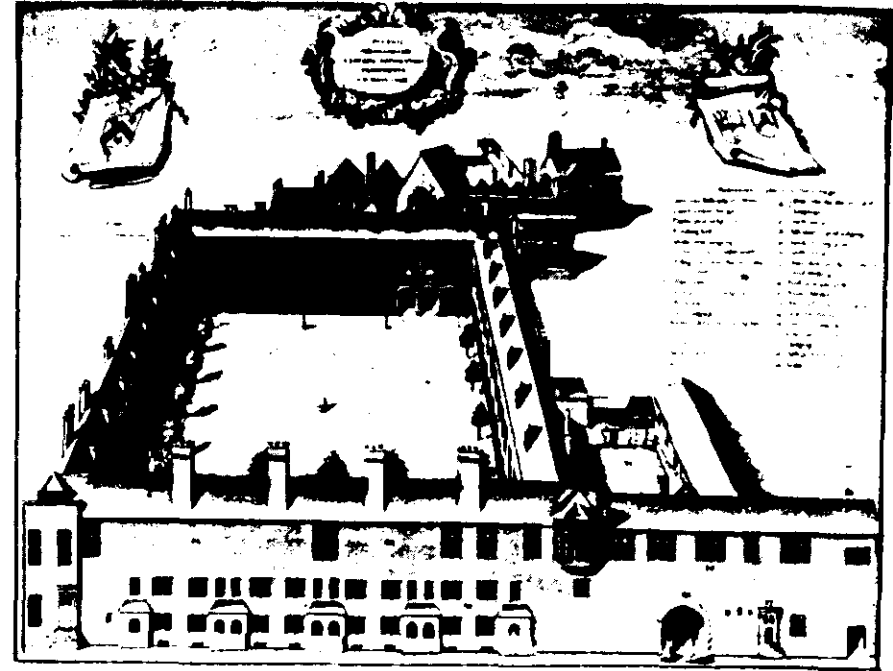


Рис. 39. Грешемский колледж, первое помещение Лондонского Королевского общества (с картины Дж. Виртю 1739 г.). Здесь Э. Галлей производил свои опыты над испарением.

гревании отделяются с большой скоростью все новые и новые частицы воды. Это можно наблюдать в котлах с кипящей водой. Днем солнце, нагревая воздух, заставляет подниматься с воды обильные пары. Теплый воздух способен содержать больше водяного пара, чем холодный, поэтому ночью, когда постепенно становится холоднее, какая-то часть пара превращается в росу. Этот процесс несколько напоминает растворение соли в воде — в теплой она растворяется быстрее, чем в холодной, но когда раствор остывает, часть соли осаждается.

Галлей писал:

«...поэтому пары, которые в изобилии поднимаются с моря и ветром уносятся через равнины к горным хребтам, принуждаются там потоками воздуха подниматься вместе с ними на вершины гор, где вода вскоре осаждается и стекает вниз по расщелинам в камнях; часть же паров заполняет углубления на возвышенностях и в камнях и там, как в перегонном кубе, превращается в воду, которая заполняет их до краев, после чего избыток ее выливается через более низкий край и, стекая по склонам холма, образует отдельные источники» [6].

Источники, соединяясь, образуют реки, которые снова выносят воду в море.

Испарение и происхождение источников. Между объяснениями, которые давали происхождению источников французские ученые и английский астроном, есть коренное различие. Перро и Мариотт пришли к выводу, что источники возникают благодаря перемежающимся дождям, Галлей же утверждал, что на протяжении горных хребтов конденсация влаги из паров происходит постоянно, а поэтому «можно считать правилом, почти не имеющим исключений, что мощность реки или количество воды, несомое ею, прямо пропорционально протяженности и высоте горного хребта, где берут начало ее истоки» [6].

В работе более позднего периода, представленной Королевскому обществу [7], Галлей доказывал, что испарения, происходящего на поверхности океанов, более чем достаточно для того, чтобы наполнить водой все ручьи и реки. Для определения количества воды, испаряющейся с поверхности океана, Галлей взял таз с водой, диаметром 7,9 дюйма, высотой 4 дюйма. В воду он поместил термометр и нагревал ее до температуры, какую имеет воздух «в самое жаркое наше лето». Через два часа Галлей обнаружил, что испарилось 233 грана воды, а высота слоя воды, испарившейся из сосуда на протяжении двух часов, составила $\frac{1}{53}$ дюйма:

Для упрощения дальнейших расчетов Галлей предположил, что высота испарившегося слоя воды составляет $\frac{1}{120}$ дюйма в час. Летом испарение происходит в течение 12 часов в сутки, ибо «ночью роса возвращает столько же, если не больше паров, чем поднялось днем». Следовательно, если принять, что Средиземное море по длине охватывает 40 градусов (1 градус = 69 милям), а по ширине — 4 градуса, то в летний день испарение с его поверхности составит 5 280 000 000 тонн. Галлей тут же оговорился, что полученная им величина, вероятно, сильно занижена, потому что испарение в большой степени зависит от ветра, а он вовсе не учитывал его воздействие.

Далее Галлей вычислил, какое количество воды получает Средиземное море от впадающих в него девяти крупнейших рек: Эбро, Роны, Тибра, По, Дуная, Днестра, Днепра (Борисфена), Нила и Дона (Танаиса). Если принять, что площадь поперечного сечения Темзы составляет 300 футов \times 9 футов, а средняя скорость ее 2 мили в час, то количество воды, протекающей в Темзе за сутки, составит 20 300 000 тонн. Если в каждой из названных девяти рек расход воды в десять раз больше, чем в Темзе, то общее количество пресной воды, получаемой ежедневно Средиземным морем, составит $20,3 \times 10^6 \times 10 \times 9 = 1827\ 000\ 000$ тонн. Поскольку это немногим больше одной трети всего количества испаряющейся воды, можно считать доказанным, что из океана испаряется достаточно воды, чтобы наполнить все реки и источники.

Галлей имел достаточно ясное представление о круговороте воды:

«Одну часть паров, заносимых ветром с моря на сушу, реки возвращают морю, откуда они поднялись; другая часть, осаждаемая ночной прохладой, выпадает в виде росы или дождя, причем в первую очередь и в наибольшем количестве опять же в море, из-за огромной протяженности его, которую порывы ветра не могут преодолеть даже за очень продолжительное время. Именно поэтому реки не возвращают Средиземному морю столько же влаги, сколько оно потеряло при испарении. Третья часть падает на равнину, где питает растения, но она здесь не остается, а под действием солнца снова превращается в пары, и они уносятся ветром или в море, чтобы выпасть там дождем

либо росой, или в горы, чтобы превратиться в источники. И хотя не сразу, а после нескольких превращений воды в пар и пара в дождь и росу, каждая частица воды в конце концов возвращается в море, откуда она вышла. Добавьте к этому, что дождевая вода, полностью пропитав землю влагой, по долинам и низменностям направляется в реки, а следовательно вскоре оказывается в море. Так происходит циркуляция воды...» [6].

В третьем разделе работы на эту тему Галлей дал описание наблюдений, проведенных «весьма тщательно» в 1693 г. под его руководством Генри Хантом в Грешемском колледже [8]. На протяжении всего этого года каждый день измерялось испарение с защищенной экраном поверхности воды (площадь 8 кв. дюймов). При этом тщательно записывались температура (внешняя?), давление и вид осадков (снег, дождь, иней). Все наблюдения производились в 8 часов утра. Общая годовая величина испарения составила 64 куб. дюйма, или 8 куб. дюймов воды на 1 кв. дюйм площади. Галлей сравнил полученные результаты с данными П. Перро об осадках в Париже (19 дюймов в год) и данными Таунлея об осадках у подножия холмов в Ланкашире (40 дюймов в год). По-видимому, величина испарения за год не покрывала годового количества осадков. По мнению Галлея, разница между величиной испарения в закрытом пространстве и количеством осадков, выпадающих в природе, объясняется тем, что при эксперименте было исключено влияние солнца и ветра. Ветер, заключил Галлей, увеличил бы величину испарения по крайней мере в три раза, а солнце — может быть в два.

Во время эксперимента было также доказано, что в мае, июне, июле и августе испаряется почти равное количество воды, которое в три раза превышает величину испарения в ноябре, декабре, январе и феврале и в два раза — величину испарения в марте, апреле, сентябре и октябре. К сожалению, Галлей ничего не сообщает о том, как выглядел сосуд с водой, с помощью которого производились наблюдения. Возможно, это был такой же «таз с водой», как и в предыдущем эксперименте, и его каждый день в 8 часов утра наполняли водой.

Последняя работа на тему об испарении, опубликованная в 1715 г. [9], представляет собой большой интерес для всех, кто занимается историей науки. В ней Галлей рассматривает четыре замкнутых (то есть не имеющих стока) моря и озера — Каспийское море, Мертвое море, озеро Титикака в Перу и одно из мексиканских озер. Поскольку они бессточные, рассуждал Галлей, а воду получают от разных рек непрерывно, их уровень должен непрерывно повышаться, пока их поверхность не увеличится

настолько, что сможет испарять всю воду, доставляемую реками.

Далее Галлей предположил, что, раз реки все время выносят в океан растворенную соль, а испаряется только вода пресная, соленость морской воды непрерывно возрастает. Из этого Галлей заключил, что по степени солености морской воды можно определить возраст Земли.

Заключение

Знакомство с развитием гидрологической науки убеждает нас в том, что только в XVII в. совместными усилиями ряда ученых была сделана попытка установить экспериментальным путем некоторые основные положения гидрологии, хотя и раньше многочисленные исследователи способствовали прогрессу прикладной гидрологии своими опытами, к сожалению, разрозненными. В рассматриваемый период основные работы по гидрологии принадлежат Пьеру Перро, Эдму Мариотту и Эдмунду Галлею. Их вклад в гидрологию буквально неопределим. Перро первым доказал путем экспериментальных исследований, что осадки выпадают в достаточном количестве для того, чтобы поддерживать речной сток. Его концепция плювиального (дождевого) происхождения источников, возможно, сложилась под значительным влиянием иезуита Жана Франсуа (1582—1668), который преподавал в нескольких иезуитских колледжах и много писал о гидрогеологии. Перро безусловно знал его книгу «Наука о водах в четырех частях, которая объясняет их происхождение, связь, движение и смещение», впервые опубликованную в 1653 г. [10]. Между теориями Франсуа и Перро о происхождении источников, конечно, большое сходство, но, пока труды иезуита не будут тщательно изучены, невозможно сказать, насколько велико было его влияние на Перро.

Работы Перро получили широкую известность в кругах ученых XVII в., но посмертный труд Мариотта имел больше почитателей, прежде всего потому, что Мариотт был более выдающимся ученым. Обе книги, однако, вызвали серьезные возражения, особенно изложенные в них теории круговорота воды. Перро не удалось убедить в своей правоте даже родного брата Шарля, который вместе с де Ла Гиром поставил в 1690 г.

такой простой опыт: они закопали глиняный сосуд в землю на глубину сначала 8, а затем 16 футов и соединили его свинцовой трубой с погребом; поскольку из трубы вода не полилась, экспериментаторы пришли к выводу, что дождевая вода не может проникать в землю больше, чем на несколько футов. Очевидно, сосуд случайно попал под водонепроницаемый пласт.

Третий пионер научной гидрологии, астроном Эдмунд Галлей, доказал своими расчетами, что вода испаряется из океанов и дождем падает обратно в таком количестве, которого достаточно для поддержания стока рек. Таким образом, эти три ученых утвердили теорию гидрологического цикла в ее правах, хотя многие последующие известные исследователи отказывались ее признать. Кроме того, Перро, Мариотт и Галлей первыми из исследователей-гидрологов прибегли для доказательства своих гипотез к количественным измерениям, и в этом, несомненно, их величайшая заслуга перед гидрологической наукой.

Введение Как уже говорилось выше, дождемеры время от времени появлялись в разные эпохи в самых отдаленных частях мира, например около IV в. до н. э. — в Индии, в I в. н. э. — в Палестине, в XIII в. — в Китае, в XV в. — в Корее, но в Европе ими не пользовались до XVII в. Первым их применил в 1639 г. итальянец Бенедетто Кастелли, который провел несколько отдельных опытов с дождемером без записывающего устройства. Примерно в это время Кристофер Рен изобрел два первых дождемера с записывающим устройством, один из которых впоследствии был усовершенствован Робертом Гуком [1]. Но только во второй половине XVII в. появился широкий интерес к созданию дождемеров различных типов и к систематическим объемным измерениям атмосферных осадков.

Письмо Кастелли Галилею

Очевидно из-за того, что Кастелли первым применил дождемер, ему иногда ошибочно приписывают его изобретение. Известный немецкий метеоролог Гельман нашел письмо Кастелли Галилею, датированное 10 июня 1639 г., где Кастелли пишет о применении им дождемера. Гельман сообщил о своем открытии в работе, опубликованной в 1890 г. [2], и на этом основании Саймонс заявил годом позже, что, очевидно, дождемер Кастелли следует считать первым [3]. Однако в 1901 и 1908 гг. Гельман опубликовал две статьи, в которых прямо говорит, что дождемеры были изобретены в I в. н. э. в Палестине. К слову сказать, Гельман тут же упоминает, что в начале XVII в. действовавший

дождемер имелся при дворе герцога Фердинанда II Тосканского во Флоренции.

В письме Галилею, состоявшему в то время «главным филозофом» при этом дворе, Кастелли пишет:

«По моем возвращении в Перуджу полил дождь, не очень сильный, но равномерный, продолжавшийся в течение восьми часов или около этого; и тут мне пришло в голову исследовать в Перудже, на сколько озеро [Тразименское] поднялось и разлилось благодаря этому дождю, допуская (что вполне вероятно), что дождь падает с равной силой над всем озером; для этой цели я взял стеклянный сосуд цилиндрической формы, высотой около ладони и шириной с полладони; затем я налил в него воды, так что она закрывала дно, тщательно отметил ее высоту и выставил сосуд под открытое небо, где в него попадала дождевая вода; там он стоял в течение часа; заметив после этого, что уровень воды в сосуде поднялся вот на столько (здесь Кастелли провел на бумаге черту длиной около 0,4 дюйма), я пришел к выводу, что если бы я поставил под дождь другой сосуд, равный этому, вода в нем поднялась бы на столько же».

Кастелли снова выставил сосуд под дождь и из окна своей комнаты показал его инженеру «с вялым умом» (поскольку он не выразил никакого восторга по поводу этого прибора). Саймонс предполагает, что дождемер представлял собой стеклянный цилиндр диаметром 5 дюймов и высотой 9 дюймов. Нередко утверждают, что Кастелли выставил дождемер потому, что в тот день был «необычайно сильный ливень», но, как видно из его письма, на самом деле дождь был «не очень сильный, но упорный и продолжительный».

Очевидно, Кастелли произвел измерения только одного дождя. По-видимому, ему не пришло в голову и в дальнейшем измерять осадки при помощи такого устройства. Это следует из того, что ни в Климентовских рукописях, датированных периодом с 1654 по 1664 гг., ни в записях Монастыря Ангелов во Флоренции за 1654—1670 гг. ничего не говорится о дождемерах, хотя там часто упоминается, что в такой-то день шел дождь или снег. Логично предположить, что если бы дождемеры применялись, то какие-то подробности об их устройстве и результаты измерений фигурировали бы в этих документах.

Первый дождемер Кристофера Рена

Первый в Англии дождемер был сконструирован сэром Кристофером Реном* (1632—1723). В отличие от предыдущих приборов, дождемер Рена имел записывающее устройство [4]. Мы, однако, не имеем доказательств того, что он когда-либо применялся для систематических наблюдений над атмосферными осадками.

Этот автоматический дождемер был описан французом Б. де Монкони, посетившим Англию в июне 1663 г. Описанный де Монкони дождемер изображен на рис. 40. Как будет видно из дальнейшего, он представлял собой часть метеорографа. Под



Кристофер Рен (мраморный бюст работы Эдварда Пирса в Ашмолеанском музее в Оксфорде).

приемной воронкой на ленте был помещен резервуар из трех отделений, часовой механизм заставлял ленту медленно двигаться в одну сторону, так что в одно отделение попадал дождь, выпавший в течение первого часа, во второе — выпавший в течение второго и т. д.

Миддлтон предположил, что на схеме де Монкони изображена в самых общих чертах примитивная модель, построенная Реном для того, чтобы проверить правильность своей первоначальной идеи [5]. Может быть, Рен не желал показывать свой «указатель погоды» в Королевском обществе, так как считал работу незавершенной. Впоследствии, предположил Миддлтон, Рен заменил ленту с барабаном зубчатой передачей.

**Дождемер с опрокидывающимся сосудом
Рена — Гука**

Второй автоматический дождемер Кристофера Рена был основан на принципе опрокидывающегося сосуда, снабженного записывающим устройством. Он представлял собой часть многоцелевого «указателя погоды», описанного бывшим секретарем Королевского общества Н. Грю (1641—1712):

«Делать его начал сэр Кристофер Рен, нынешний президент Королевского общества. Затем к нему прибавил другие части мистер Роберт Гук, профессор геометрии Грешемского колледжа, каковой имеет намерение опубликовать его описание здесь. Поэтому я только замечу, что инструмент этот состоит из шести или семи движущихся частей, по-видимому, удачно соединенных воедино. Первая часть — это часы с маятником, которые приводятся в дви-

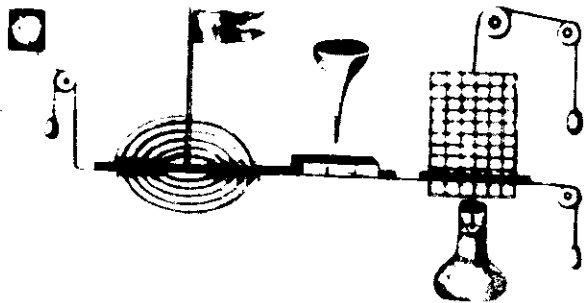


Рис. 40. Дождемер К. Рена по описанию де Монкони.

жение гирей весом 75 фунтов и заставляют двигаться большую часть механизма. К нему присоединены барометр, термометр и дождемер, описание которого приводится ниже, а также и ветромер, к которому подведен шестеренчатый механизм, похожий на одометр, и гигрометр*. И каждый из них имеет свое записывающее устройство, а «ветромер» — даже два, одно для записи направления, второе — скорости ветра. Все записи производятся на бумаге, сматывающейся с валика, также приводимого в движение часами. Инструмент для измерения количества дождя, выпадающего в любой промежуток времени на любую площадь, например за год на один акр, изобретен сэром Кристофером Реном. Предназначен для изучения рек, морей, испарения и т. д. Треугольный жестяной сосуд подвешивается на раму, как колокол, так что один его угол располагается ниже двух других. От этого угла одна стенка сосуда поднимается вертикально, вторая наклонно, поэтому заполняющая сосуд вода распространяется от центра только в одну сторону, пока сосуд наконец не упадет и не опорожнится; но так как на другой стороне имеется свинцовый груз, он немедленно его перетягивает, и сосуд выпрямляется и снова наполняется водой».

Гук дал описание дождемера и приложил к нему чертеж, объясняющий его устройство. На рис. 41 *a* помещен чертеж в его первоначальном виде, который впоследствии был воспроизведен, сначала Дерхэмом (1726), а затем Гунтером (1930). На рис. 41 *b* точка С указывает центр тяжести водяной призмы в сосуде, когда он наполнен до линии S — T (если вода подымается выше, сосуд опрокидывается). Гук указывает, что сосуд уравновешен на своем основании, как весы. Возможно, основание выглядело примерно так, как на рис. 41 *d*, где поверхности D и В являются ограничителями амплитуды колебаний сосуда (стопорами). В собранном виде сконструированный Гуком дождемер с опрокидывающимся сосудом выглядел, вероятно, так, как на рис. 41 *e*.

Гук предложил два различных метода уравновешивания сосуда. В первом случае к сосуду подсоединяли нить с привязанными цепочкой грузилами таким образом, что, когда сосуд был пустой, грузила лежали на столе. По мере того как сосуд напол-

нялся водой, грузила одно за другим подымались. Когда на столе не оставалось ни одного, сосуд опрокидывался. Но Гук отказался от этого приспособления, так как сосуд двигался рывками и не постоянно.

Второй метод Гук описал так:

«...противовесом пустому сосуду служит цилиндр, погруженный в воду, ртуть или другую жидкость. По мере того как сосуд наполняется водой, цилиндрический противовес непрерывно подымается все выше и выше из воды, все время пропорционально количеству воды, содержащемуся в сосуде. И когда сосуд наполняется до положенной меры, он немедленно опрокидывается, а цилиндр погружается в воду, заставляя сосуд занять его первоначальное положение, после чего движение возобновляется».

Принцип дождемера с опрокидывающимся сосудом, бесспорно, был известен еще до Рена. Так, Мухаммед ибн Ибрахим аль-

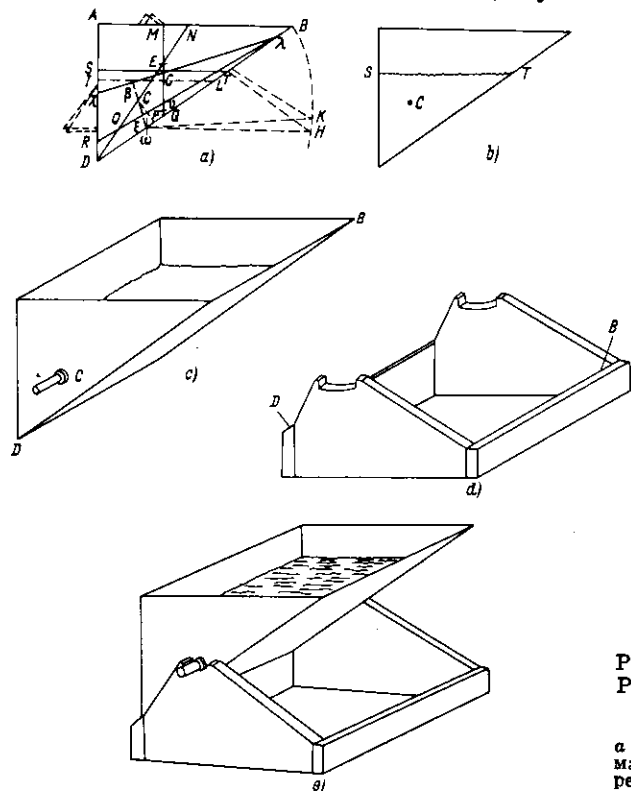


Рис. 41. Дождемер Р. Гука.

а — собственноручная схема Гука; б, с, d, e — реконструкция А. Фразье.

Джазари в трактате об автоматах (около 1364 г.) описывает устройство, в котором две фигуры попеременно наливают друг другу вино (рис. 42). Оно приводилось в действие вином, лившимся из верхней куполообразной части автомата. Сосуд, помещенный над фигурами, опрокидываясь, заставлял вино литься в чашу то одной фигуры, то другой. Но хотя подобный принцип и был известен, до сих пор нет доказательств того, что дождемер с опрокидывающимся сосудом существовал до разработок Кристофера Рена.



Рис. 42. Арабский автомат 1364 г., основанный на принципе «опрокидывающегося сосуда» (рисунок из рукописи, хранящейся в Бостонском Музее изящных искусств).

«Указатель погоды», частью которого являлся регистрирующий дождемер Рена — Гука, состоял из двух компонентов. Первый компонент представлял собой большие часы с тяжелым маятником, предназначенные для отсчета времени и, кроме того, для разматывания бумажной ленты, на которую каждые 15 минут накальвались показания. Второй компонент состоял из пяти метеорологических приборов: барометра, термометра, гигрометра, дождемера и, наконец, «ветромера» — роторного анемометра. Данные всех этих приборов накальвались на бумажную ленту*. Приведем описание этого процесса:

«Местоположение [т. е. засечка времени. — *Ред.*] первых четырех проколов отмечалось на бумажной ленте ударами часового молотка, падавшего каждые четверть часа. Прокол, соответствующий пятому [прибору, т. е. анемометру. — *Ред.*], наносился на ленту вращением вертушки, число оборотов отсчитывал небольшой счетчик, установленный на верхней части часов».

Регистрация показаний дождемера путем проколов не только фиксировала число опрокидываний сосуда, но и указывала, сколько в дождемере было воды.

Этот метеорограф, очевидно, функционировал, потому что Королевское общество попросило Гука и его ассистента «изобразить в письменном виде» некоторые данные, отмеченные на перфорированной ленте. Тот факт, что метод регистрации данных при помощи перфорации получил широкое распространение только в наши дни, в последние десять — двадцать лет, убеждает нас в том, что Гук, применивший его еще в 1673 г., намного опередил свое время. Насколько автору известно, ни одного изображения или образца перфоленты того времени до нас не дошло, но в этой связи небезынтересно, что Джейкоб Лёупольд в своей книге «Обзор машин», изданной в 1739 г., описывает применение подобной перфорированной ленты для записи показаний шагомера (педометра) и приводит соответствующие рисунки.

Принцип отсчета времени в самопишущем дождемере Рена описан Томасом Берчем (1705—1766), тогдашним секретарем Лондонского Королевского общества, а также подробно описан в статье автора [1].

Гук сконструировал также дождемер без записывающего устройства, изображенный на рис. 43. Он использовался в 1695 г. в Грешемском колледже, где Гук был профессором геометрии. На деревянной раме была укреплена большая колба, вместимостью более двух галлонов, в которую вставлялась стек-

лянная воронка, по-видимому, диаметром 11,4 дюйма. Воронку удерживали в вертикальном положении две стойки. Горло колбы имело 20 дюймов в длину и только 0,2 дюйма в диаметре для уменьшения испарения. Дождевую воду, собиравшуюся в колбе, измеряли каждый понедельник. Количество осадков, выпавших за определенный период времени, выражалось высотой слоя воды.

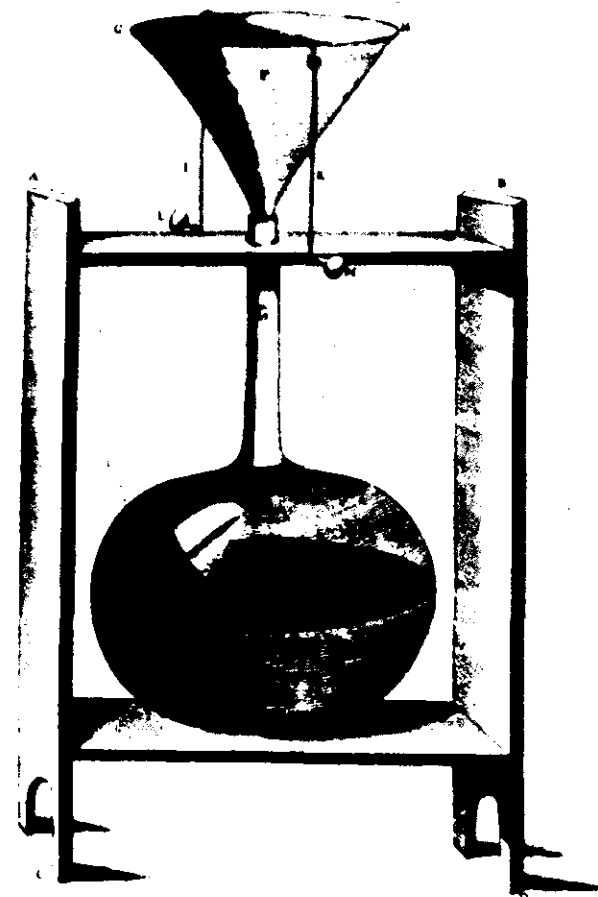


Рис. 43. Дождемер без записывающего устройства, сконструированный Гуком.

Первые непрерывные наблюдения над атмосферными осадками в Великобритании производил с 1677 г. Ричард Таунлей (1629—1707) из Таунлей-Холла в Ланкашире. Он так описывает свою дождемерную установку:

«Я прикрепил изогнутую воронку диаметром 12 дюймов к свинцовой сливной трубке, в которую вода проникала только из воронки, так как верхняя часть трубки была спаяна с воронкой, возвышавшейся над ней... причем воронка была расположена таким образом, что поблизости от нее не было ни одного сооружения, которое могло бы мешать попаданию дождя в воронку. Дождевая вода стекала по трубке длиной около 9 ярдов вертикально вниз, затем трубка изгибалась и проходила в окно рядом с моей комнатой. Под трубку ставились подходящие сосуды для сбора дождевой воды, попадавшей в воронку. Количество этой воды я измерял с помощью стеклянной мензурки, на которой была нанесена метка, соответствовавшая точно одному фунту воды, а также метки, соответствовавшие более мелким весовым частям».

Воронка была укреплена на крыше дома Таунлея. Саймонс [3], проводивший впоследствии экспериментальные наблюдения при помощи аналогичного дождемера со сливной трубкой длиной 27 футов, пришел к выводу, что в таком дождемере практически нет потерь на испарение¹.

В течение первых шести месяцев 1699 г. У. Держэм производил измерения атмосферных осадков в Апминстере. Нам неизвестны подробности устройства дождемера, которым он пользовался, но, вероятно, он походил на дождемер Таунлея.

Измерения осадков Перро и Мариотта

О дождемере Пьера Перро известно очень мало (см. гл. 10). Соотечественник Перро, Эдм Мариотт, усовершенствовал его методы, также измерял количество атмосферных осадков и стока в бассейне Сены до Парижа. По поручению Мариотта эти измерения производил, скорее всего около 1678 г., «весьма искусный и очень точный в экспериментах человек»:

¹ Зато, вероятно, были значительные потери на смачивание сливной трубки.— *Прим. ред.*

«Он поместил около крыши дома квадратный сосуд поперечником около двух футов, а к его дну присоединил трубку, по которой дождевая вода попадала в цилиндрический сосуд, где ее количество нетрудно было измерить всякий раз, как шел дождь. Ибо в цилиндрическом сосуде количество воды в течение пяти-шести дней почти не уменьшалось в результате испарения. Квадратный сосуд поддерживался железным брусом, выступавшим за окно футов на шесть, так что в сосуд попадала только дождевая вода, падавшая непосредственно в его входное отверстие — точно в соответствии с его площадью».

Начало восемнадцатого века

В начале XVIII в. во всем мире интерес к измерению количества осадков значительно повысился. По сообщению Р. Хортона [6], около 1717 г. прусские физики Киндман и Канольд изобрели дождемер конической формы и с 1717 по 1727 г. успешно производили с его помощью измерения. Первый прототип современного дождемера без записывающего устройства изготовил, вероятно, англичанин Хорсли в 1722 г. Хорсли понимал, что

«...взвешивать дождевую воду и выводить на основании ее веса высоту слоя воды — задача обременительная, даже если она решается простейшими способами; чтобы избежать этого неудобства (помимо воронки и подходящего приемного сосуда для дождевой воды), я воспользовался цилиндрической мензуркой диаметром точно 3 дюйма, высотой 10 дюймов и приемным сосудом такой же высоты, каждый дюйм которого разделен на десять равных частей; дюймы и деления могут быть нанесены не на сосуды, а на стенки цилиндрической мензурки. Это простой инструмент, и понять его устройство и принцип действия нетрудно. Ибо раз диаметр цилиндрической мензурки составляет одну десятую часть диаметра воронки, а высота мензурки — точно 10 дюймов, то совершенно ясно, что десять мерок дождя составляют 1 дюйм. Таким образом может быть легко и точно вычислена высота слоя любого количества

выпадающих осадков, а в конце каждого месяца или года нетрудно вывести общую сумму».

В 1723 г. Джеймс Джури составил ряд правил, которые обеспечили единообразие метеорологических наблюдений [7].

После 1710 г. применялось множество различных дождемеров. О наиболее интересных и необычных из них вкратце рассказывается ниже.

Дождемеры Лёупольда. Дождемер без записывающего устройства, сконструированный Дж. Лёупольдом, имел квадратный приемный сосуд размером 9×9 дюймов. Для того чтобы опреде-

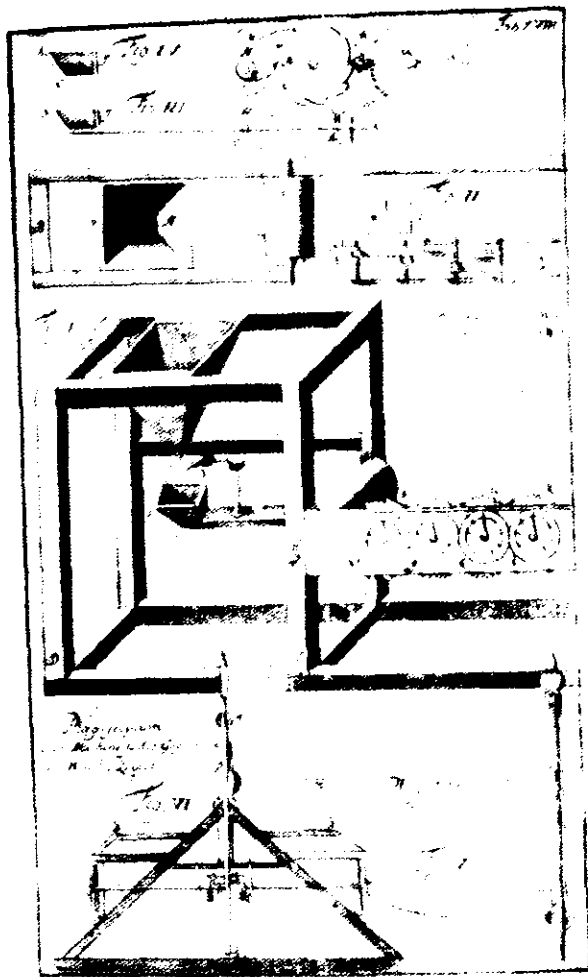


Рис. 44. Автоматический дождемер Лёупольда.

лить количество дождевой воды, ее переливали в стеклянную трубку. Имеется также описание двух автоматических дождемеров Лёупольда. У первого под воронкой был расположен ряд водосборных отделений, приводимых в движение часовым механизмом, так что над каждым отделением воронка находилась определенное время. Измерение количества воды в каждом отделении позволяло судить о количестве осадков, выпавших за данный промежуток времени.

Второй из этих автоматических дождемеров — «гнетометр» Лёупольда (рис. 44) — был устроен по принципу опрокидывающегося сосуда. Дождевая вода, поступившая в квадратную воронку, стекала в небольшой сосуд, укрепленный на конце коромысла. Как только сосуд наполнялся водой, он опрокидывался и опорожнялся. При этом первое колесико счетчика передвигалось на один зуб. Имея четыре колесика, он мог фиксировать до 10 тысяч опрокидываний. Когда приемный сосуд опрокидывался, специальное устройство направляло воду в измерительный сосуд. Основное различие между дождемерами того времени, применявшимися в Англии и на Европейском континенте, заключалось в наличии кранов для опорожнения приемных сосудов. На континенте краны применялись во многих конструкциях дождемеров, тогда как англичане редко прибегали к их помощи, понимая, что они очень быстро начинают подтекать.

Дождемеры Пикеринга, Добсона и Дальтона. В 1744 г. Р. Пикеринг предложил дождемер с узкой воронкой сечением в 1 кв. дюйм, соединенной со стеклянной трубкой диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма, длиной более 2 футов (рис. 45). Дождемер был прикреплен к щиту, который висел на железном кронштейне на крыше дома. Дюймовые деления на трубке были разделены на 32 части. Пикеринг утверждал, что трубки столь малого диаметра дают более точные результаты, чем трубки большего размера. Инструмент был очень прост, при поломках его нетрудно было починить.

Дж. Добсон [8] первым произвел измерения количества выпадающих осадков, соответствующие современным стандартам (около 1777 г.). В то время, да и позднее дождемеры в большинстве случаев помещались на крышах домов, так чтобы они могли «улавливать свободное падение дождя». Дождемер Добсона представлял собой гладкую жестяную воронку диаметром 12 дюймов, установленную на большом сосуде с помощью нарезной

пробки, предназначавшейся первоначально для уменьшения испарения. Добсон поставил свой дождемер посередине травянистой лужайки близ Ливерпуля, расположенной на высоте 75 футов над уровнем моря и открытой солнцу, ветрам и дождям.

Дальтон дал очень краткое и точное определение и описание дождемера:

«Дождемер — это сосуд, устанавливаемый для сбора воды от выпадающего дождя с целью точно определить, какое ее количество выпадает в этом месте на данную горизонтальную поверхность. Для этого инструмента требуется только прочная воронка из листового железа, покрытая оловом и покрашенная, с вертикальным ободом высотой два-три дюйма, укрепленная в горизонтальном положении на подходящей раме, и сосуд под ней для сбора дождевой воды».

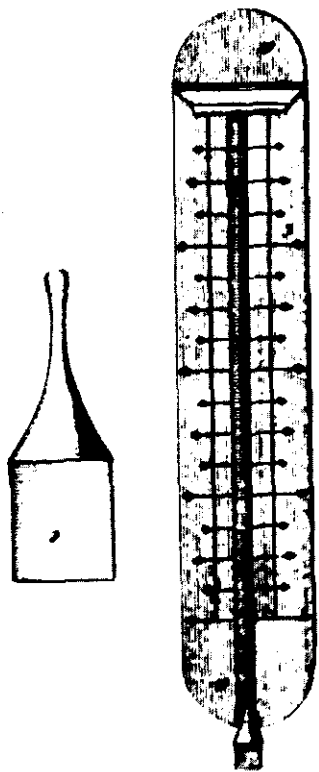


Рис. 45. Дождемер Пикеринга.

Заключение

Ни один гидрологический или метеорологический инструмент не привлекал такого постоянного, длительного и пристального внимания исследователей, как дождемер. Но интерес к измерению среднего годового количества осадков впервые возник лишь в середине XVIII в. Преобладавшее в то время мнение отразил Джилберт Уайт, который сказал, что наблюдения, проводившиеся им с мая 1779 по декабрь 1786 г. были слишком кратковременны для того, чтобы на их основании можно было установить средние величины. В XVII и XVIII вв. самые продолжительные наблюдения над осадками (т. е. выполненные одним и тем же человеком с помощью одного и того же инструмента) произвел шурин Уайта — Томас Баркер из Линдона в Рутланде (Англия). Он вел наблюдения в течение 60 лет, с 1736 по 1796 г.

Многие из среднегодовых величин осадков, выведенных в XVIII в., страдают одним существенным недостатком: лица, ведшие наблюдения, не обратили внимания на то, что в сентябре 1752 г. официально было только 19 дней¹.

В заключение этой главы лучше всего привести слова Г. Дж. Саймонса [10], которому метеорологи и гидрологи всего мира обязаны упорядочением методики наблюдений над осадками:

«...Прежде всего я хочу возразить на часто высказываемое мнение, будто мы не можем доверять очень старым наблюдениям... Я утверждаю, что им можно доверять... Я считаю их более достоверными, чем многие современные наблюдения; ибо в XVII и в начале XVIII в. измерение количества осадков считалось серьезным делом, под стать только лучшим людям».

¹ В связи с введением в Англии григорианского календаря.— *Прим. ред.*

Введение Незадолго до своей смерти, последовавшей в 1727 г., Исаак Ньютон писал:

«Не знаю, каким я представляюсь людям, но себе самому я всегда казался маленьким мальчиком, играющим на берегу моря и время от времени отыскивающим для забавы более гладкий, чем обычно, камушек или более красивую раковину, тогда как передо мной расстилается никем не познанный бескрайний океан истины».

Замечание Ньютона может быть отнесено непосредственно к гидрологии. Эта наука даже к началу XVIII в. достигла весьма скромных успехов, и только очень немногие из ее основных законов были открыты, да и они далеко не все получили общее признание.

Антонио Валисньери и Джованни Полени

Одним из ведущих ученых-гидрологов этого периода был Антонио Валисньери (1661—1730), ректор Падуанского университета, опубликовавший в 1715 г., преимущественно на основе своих личных наблюдений в Альпах и Апеннинах, трактат о происхождении рек [1]. Ему были известны работы Перро и Мариотта. Для подтверждения плювиальной теории он производил наблюдения в горах, где берут начало многие реки Италии, и нигде не нашел следов морской воды, выталкиваемой на вершинах гор из-под земли. Напротив, он видел, что повсюду вода просачивается и стекает по склонам. Он заметил, что горные вершины постоянно покрыты снегом и льдом, и пришел к выводу, что

их таяние и атмосферные осадки дают необходимое количество воды для рек и источников.

К своему удивлению, Валисньери обнаружил, что с обширных снежных полей Тоскано-Эмилианских Апеннин стекает очень мало источников. Однако местные пастухи объяснили ему, в чем причина этой аномалии. Постоянно образующаяся в результате таяния снегов вода спускается вниз к городу Модене подземными потоками. Когда Валисньери узнал об этом, то решил, что лучше всего он выразит свои чувства, если процитирует слова Данте о человеке, который избавился от страха и сомнений, ибо, к его радости, ему открылась истина. Валисньери быстро понял, что именно благодаря этим потокам существуют артезианские колодцы в Модене, относительно происхождения которых высказывалось множество различных предположений. В действительности все было очень просто. Подземные потоки, зарождавшиеся в Апеннинах, проходили под Моденой к Болонье. По-видимому, вода в них находилась под большим давлением, и стоило в Модене пробурить скважину (см. в гл. 9 описание моденских колодцев, сделанное Рамадзини), как она с силой вырывалась наружу и образовывала артезианский колодец. Валисньери объяснил происхождение артезианских колодцев и механизм их действия даже лучше, чем Рамадзини.

В начале XVIII в. жил еще один выдающийся итальянский ученый — маркиз Джованни Полени (1683—1761). Он родился в Венеции и уже в 26 лет стал профессором астрономии в Падуанском университете. Позднее он там же преподавал физику, а затем математику. Кроме того Полени был консультантом по части регулирования паводков и водоснабжения. В работе, изданной в 1717 г. [2], Полени проанализировал течение воды через прямоугольное отверстие в открытом русле. Принимая параболический закон распределения скоростей, он получил для расхода потока на единицу его ширины выражение

$$Q = \frac{2}{3} hb\sqrt{f},$$

где h и b — соответственно высота и ширина отверстия, а f — функция скорости ($2gh$).

Впоследствии Полени исследовал течение воды через водослив с острым порогом. Он получил такое уравнение (названное впоследствии его именем):

$$Q = \frac{2}{3} C b \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}.$$

Капиллярная теория происхождения источников

Преподобный У. Дерхэм (1657—1735) в книге «Физическая теология», впервые опубликованной в 1713 г., выдвинул капиллярную теорию происхождения источников. Ее изложил С. Швицер в 1729 г. [3]:

«Что касается того, каким образом вода подымается на горы и другие возвышенности, что до сих пор вызывало недоумение стольких великих умов, то, говорит мистер Дерхэм, это можно понять при помощи простого и естественно-го опыта. Надо насыпать в сосуд с водой кучку песка или пепла или же положить в него небольшой каравай хлеба, и тогда песок будет изображать сушу, или остров, а сосуд с водой — омывающее его море; и подобно тому, как вода в бассейне подымается до вершины или почти до вершины кучки песка, так и вода в морях, озерах и т. д. подымается на вершины холмов; он считает, что то же самое происходит с жидкостью в капиллярных трубках или между двумя близко расположенными плоскостями, или в трубке, наполненной пористым материалом».

Швицер был полностью согласен с теорией Дерхэма, считая, что происхождение рек и источников нельзя объяснять только выпадением осадков. Он утверждал, что поскольку выводы Дерхэма основывались на его собственных метеорологических наблюдениях (см. главу 11), они не могли не быть точными, а следовательно, бесспорными. Если бы один из этих ученых произвел простой опыт, чтобы определить, на какую максимальную высоту подымается жидкость в капиллярах, он бы немедленно изменил свою точку зрения.

Происхождению источников была посвящена целая глава в книге Н. Пюша (1688—1761) «Зрелище природы», изданной в 1732 г. Один из героев книги ясно и точно излагает капиллярную теорию:

«Я твердо убежден, что морская вода откладывает соль на песок, находящийся под ней, и постепенно подымается,

очищаясь при прохождении через песок и поры земли, которые обладают невероятной притягательной силой; наблюдение, произведенное мною нынче, уверило меня в том, что не только песок, но и другие земные тела способны притягивать воду. Когда я бросил в чашку кофе кусок сахара, вода немедленно проникла в него и покрыла с верхом. А вчера я наблюдал, как вода, налитая у основания кучи песка, быстро поднялась до ее середины. Как мне представляется, то же самое происходит с морской водой и с возвышенностями».

Ученый муж, являющийся главным героем книги, категорически отвергает эту теорию по трем пунктам. Во-первых, в сухом песке вода не может подняться больше чем на 32 фута, да и на такую высоту подымается очень редко. Во-вторых, спустя какое-то время водоросли покрыли бы проходы и воспрепятствовали просачиванию воды. В-третьих, если бы морская вода все-таки просачивалась, она бы очень скоро пропитала все прибрежные равнины.

Пюш верил в плювиальную теорию происхождения источников и решительно отвергал концепцию Декарта. Он вычислил, что даже если бы кубический фут морской воды содержал только один фунт соли, а не два, как обычно, то и тогда суточный сток одной только Сены (288 миллионов куб. футов, по подсчету Мариотта) откладывал бы каждый день 288 миллионов фунтов соли. А все реки мира откладывали бы такое огромное количество соли, что эту теорию никак нельзя признать правдоподобной.

Определение скорости течения с помощью трубки Пито

Анри де Пито (1695—1771), родившийся в Арамоне (юго-западная Франция), был учеником известного французского ученого Реомюра. Заняв в 1740 г. пост главного смотрителя Южного канала* в своей родной провинции Лангедок, он стал заниматься строительством мостов, акведуков, различных сооружений для регулирования паводков и защиты от наводнений, а также осушением заболоченных земель. Однако самую большую славу ему принесло изобретение очень простого инструмента, известного под названием трубки Пито.

В работе, опубликованной в 1732 г. [4], Пито рассматривает значение распределения скорости течения воды в реке и делает обзор существующих мнений по этому вопросу. Он выделяет две теории изменения скорости с глубиной и отдает предпочтение той, которая утверждает, что у дна реки скорость движения уменьшается по сравнению с поверхностью из-за сопротивления, возникающего при трении. Пито высказывается против использования поплавков для определения скорости движения воды, ибо этот способ неточен в силу нескольких обстоятельств. Во-первых, восковой шар не всегда виден, а если в качестве поплавка использовать кусок дерева такой величины, чтобы он сразу бросался в глаза, то на него будут действовать потоки воздуха, что может повлечь за собой ошибки. Во-вторых, несколько экспериментов, проведенных на том же участке реки, дадут несходные результаты, ибо поплавки будут всякий раз двигаться по иной траектории. В-третьих, почти невозможно точно измерить расстояние, проходимое поплавком в единицу времени. И наконец, при этом способе измеряется только скорость воды на поверхности реки, следовательно, скорость на той или иной глубине остается вне рамок опыта. Все эти недостатки легко устранял предложенный Пито новый инструмент, который обладал еще тем преимуществом, что пользоваться им было так же несложно, как опустить палку в воду.

«Машина» Пито состоит из двух параллельных трубок, одной — прямой, а второй — изогнутой внизу под прямым углом, укрепленных на деревянной раме с делениями (рис. 46). Инструмент погружают в воду на заданную глубину изогнутым концом против течения. В стоячей воде уровни воды в обеих трубках остаются одинаковыми, но в текучей между ними образуется разница, величина которой зависит от скорости течения воды.

Пито был доволен своим изобретением:

«Принцип действия этой машины настолько естествен и прост, что, додумавшись до него, я немедленно кинулся на берег реки и произвел первый опыт с простой стеклянной трубкой. Результат полностью подтвердил мои предположения. После этого опыта я не мог понять, как это столь простая и полезная мысль не пришла в голову многочисленным ученым, которые ставили опыты для исследования скорости течения воды и писали научные работы на эту тему».

Новый инструмент, созданный в результате теоретического анализа, представлял собой тот исключительный случай, когда

две ошибочные теории привели к правильному решению. Пито дал такое объяснение законам течения и сопротивления:

«Нет человека, имеющего хоть какое-нибудь представление о теории движения воды, который бы не понял немедленно принцип действия этой машины; ибо, согласно основным законам этой науки, за скорость движения воды следует принимать скорость ее падения с определенной высоты, а это означает, что если вода с этой же скоростью будет подниматься вверх, она поднимется точно на такую же высоту...»

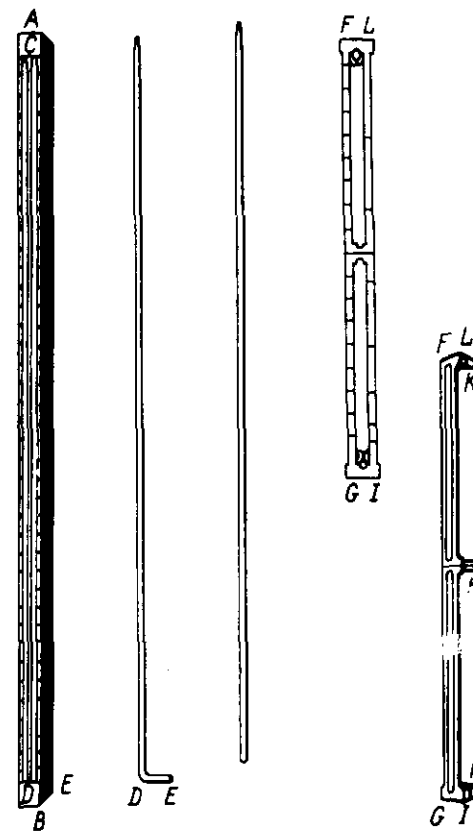


Рис. 46. Трубка Пито по его собственноручным чертежам.

...Далее, сила импульса воды, создаваемого ее скоростью, равна весу столба воды, основанием которого является площадь поверхности, на которую действует вода, а вершиной — высота, с которой должна падать вода для приобретения данной скорости. Таким образом, в трубке нашей машины вода под напором течения должна подняться точно на такую же высоту, с какой она должна была бы падать для того, чтобы образовалось подобное течение».

Следует вспомнить, что, поскольку величина « g » еще не была определена, уравнение $v = \sqrt{2gh}$ во времена Пито решалось неправильно, и Вариньон, которому Пито приписывал «честь первого доказательства этого принципа», не продвинулся дальше формулы $v = \sqrt{gh}$. Связь инерции движущегося тела и импульса, использованная Пито, представляла собой уточненный Ньютоном постулат, который вывел еще Мариотт и который был далеко не точным. Это отметил впоследствии аббат Боссю, который наряду с Кондорсе и Д'Аламбером проводил множество экспериментальных исследований сопротивления течению.

Пито так изложил результаты своих опытов:

«Итак, согласно опытам, давление бесконечной жидкости, оказываемое по перпендикуляру на неподвижную плоскость, равняется весу столба этой жидкости, которому основанием служит поверхность, на которую она падает, а высотой — та высота, при падении с которой вода приобретает данную скорость. Таким образом, если P — давление, s^2 — площадь, h — высота, необходимая для данной скорости, w — удельный вес жидкости, то мы получим приблизительно:

$$P = ws^2h,$$

где h может быть вычислено по законам падения тяжелых тел».

Хотя Пито не совсем правильно понимал сущность процесса течения жидкости, его новый прибор был великопленным изобретением. С его помощью оказалось возможным определять скорость течения воды в реке на различных глубинах и доказать ошибочность параболического закона распределения скоростей (наименьшая скорость на поверхности и максимальная у дна). Уже одно это было важной вехой в развитии гидрологии.

Даниил Бернулли и его уравнение

Швейцарское семейство Бернулли было одарено математическими способностями. Иоганн Бернулли (1667—1748) сначала был профессором математики в Гронингене в Голландии, а впоследствии занял место своего старшего брата Якоба на кафедре математики в Базеле. Сын Иоганна, Даниил (1700—1782), с 1725 по 1732 г. преподавал математику в Санкт-Петербурге, а возвратившись в Базель, преподавал анатомию, физику и ботанику.

Для гидрологии главный интерес представляют работы Даниила Бернулли и предпринятое им исследование связи между давлением столба жидкости и скоростью ее течения. Свою книгу «Гидродинамика, или комментарии о силах и движении жидкости» он начал писать еще в Санкт-Петербурге, в начале 30-х годов. Издана она была в 1738 г. в Страсбурге. Этот труд, выдвинувший Бернулли в первые ряды математиков, вызвал, очевидно, зависть его отца. В 1743 г. тот написал книгу «Гидравлика, проверенная на основе механики», которую датировал 1732 годом, — явная попытка посягнуть на заслуги Даниила. Тем не менее книга Иоганна Бернулли была очень хорошо принята, и Леонард Эйлер (1707—1788), которому автор послал часть рукописи до ее опубликования, дал ей самую лестную оценку.

На основании проведенного им исследования Даниил Бернулли пришел к такому выводу:

«Следует сформулировать принципы, о которых мы так часто упоминали. Первостепенное значение имеет принцип „сохранения живой силы“, который я называю „равновесием между фактическим снижением и потенциальным подъемом“. Я и впредь намерен употреблять это выражение, ибо оно, хотя и имеет то же значение, что и первое, меньше раздражает некоторых философов, которые приходят в волнение при одном упоминании „живой силы“».

Как и его предшественники Гюйгенс и Лейбниц, Даниил Бернулли исходил из предположения, что сумма потенциальной и кинетической энергии свободно падающего тела — величина постоянная (термины «потенциальная энергия» и «кинетическая» в то время еще не появились).

Главной целью Бернулли было установить зависимость между давлением и скоростью жидкости. Он говорил о своей теории как о «новой», поскольку она «рассматривает одновременно давление жидкости и скорость ее движения». Бернулли наверняка был если не первый (это трудно выяснить), то во всяком случае один из первых среди тех, кто пытался найти связь между давлением жидкости и скоростью, хотя он так и не смог прийти к общему ее выражению. Зато он нашел решение для многих частных случаев.

«Уравнение Бернулли», в том виде, в каком оно сейчас известно всему миру, на самом деле выведено не им. Как указывалось выше, Бернулли в результате анализа нашел только принцип постоянства суммы потенциальной и кинетической энергий, без учета влияния давления. Уравнение Бернулли

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{const},$$

по сути дела, представляет собой запись принципа сохранения энергии и является чрезвычайно важной интегральной формой общего уравнения движения Эйлера. Естественно, возникает вопрос, справедливо ли приписывать Бернулли принцип, который он на самом деле не открыл. Конечно, это не совсем правильно, но поскольку он одним из первых привлек внимание к соотношению давления и скорости жидкости, то безусловно заслужил лавры, которыми его впоследствии увенчали.

Вычисления расхода, произведенные Шези и дю Бюа

Антуан Шези (1718—1798), родившийся в Шалоне-на-Марне, учился, а потом некоторое время преподавал в местной приходской школе. В 1748 г. он поступил в Училище путей сообщения*, еще не носившее в то время это название, и закончил его с отличием. Впоследствии он работал в этом Училище (его первым директором был Перроне) и только в 1790 г., совсем бедняком, ушел в отставку. Стараниями своего бывшего ученика барона Риш де Прони в 1797 г., всего за год до смерти, Антуан Шези был назначен директором Училища.

Во второй половине XVIII в. водоснабжение Парижа не удовлетворяло всех нужд. В поисках выхода из этого положения специальная комиссия посоветовала подвести воду из реки Иветт.

В 1768 г. городские власти поручили Перроне и Шези составить соответствующий проект канала. На долю Шези выпало вычислить площадь поперечного сечения отводного канала и расход воды в нем. Необходимой методики еще не существо-

вало, и Шези пришлось самому ее разрабатывать. Его окончательные рекомендации были переданы Перроне. По мнению Прони, Шези вывел свою формулу в 1775 г. Но Прони не располагал оригиналом доклада об Иветтском канале, его нашел только в 1897 г. в архивах Училища путей сообщения американский инженер Клеменс Гершель. Впоследствии он опубликовал этот доклад. Вот выдержка из него с выводом формулы, ныне известной под названием «формулы Шези»:

«Если нам нужно провести водопровод либо для того, чтобы доставить воду в безводную местность, либо для того,



Антуан Шези, третий директор Училища путей сообщения (портрет, хранящийся в Училище).

чтобы отвести излишнюю воду с территории, где она имеется в избытке, и осушить эту территорию, надо добиться того, чтобы по водопроводу стекало максимальное количество воды при возможно наименьшем уклоне.

Спроектировав канаву или канал, подобрав его уклон, необходимо проверить, достаточно ли велико поперечное сечение канала, чтобы пропустить нужное количество воды. Для выяснения этого надо знать, с какой скоростью будет двигаться вода в канале, уклон которого мы принимаем постоянным.

Речь идет не о начальной или мгновенной скорости, очень большой, если она обусловлена напором, или очень маленькой вначале, если она обусловлена только силой тяжести и уклоном и ничем больше. Какой бы ни была начальная скорость, она очень скоро или уменьшится, или увеличится и примет установившееся значение, обусловленное уклоном канала и силой тяжести, которой противодействует трение о стенки канала. Вот эту скорость нам и надо вычислить, хотя бы приблизительно. В поставленном таким образом вопросе содержится и ответ на него, ибо очевидно, что скорость, вызываемая только силой тяжести, действующей постоянно (если при этом не учитывать любые изменения скорости, возникающие по какой-либо другой причине, так как они быстро сходят на нет и не относятся к делу), — эта скорость может быть постоянной лишь в том случае, если она не получает дополнительного ускорения, а сила тяжести все время создает дополнительное ускорение, за исключением тех случаев, когда действие силы тяжести на воду равно сопротивлению, которое оказывает смоченный периметр канала. Это сопротивление пропорционально квадрату скорости потока, так как ей (скорости) пропорционально как число частиц воды, проходящих через сечение в единицу времени, так и сила сопротивления движению каждой из них; сопротивление также зависит от смоченного периметра канала. Сопротивлением, вызываемым трением воздуха о поверхность воды, можно пренебречь.

Следовательно, если V — скорость, а P — смоченный периметр канала, то сопротивление, возникающее в результате трения, будет равно VVP .

С другой стороны, действие силы тяжести зависит от площади поперечного сечения потока воды и от уклона канала или от высоты, с которой струя падает на каждый туаз (6,4 фута) длины канала.

Если обозначить площадь поперечного сечения через a , а уклон через h , то сила тяжести составит ah .

При этом условии, зная уклон канала (по измерениям) H , площадь поперечного сечения потока A , его скорость V , смоченный периметр канала P , нетрудно найти скорость воды v , текущей в другом канале, в котором известны: уклон h , площадь поперечного сечения a , смоченный периметр p .

Можно составить пропорцию:

$$VVP : AH = vvp : ah,$$

откуда

$$VVP \cdot ah = vvp \cdot AH$$

и

$$v = V \sqrt{\frac{ahP}{Ahp}}$$

Для доказательства выведенной таким образом формулы Шези в сентябре и октябре 1769 г. провел два опыта — в канале Курпале, что в Орлеанском лесу, и на Сене.

Были выбраны «возможно более прямые и единообразные участки», измерения проводились в тихий день. Скорость воды определялась с помощью поплавка, в качестве которого использовался восковой шар; скорость на поверхности воды была принята за среднюю. Результаты опыта изложены в следующей таблице:

	Канал Курпале	Река Сена
Дата эксперимента	23 сентября 1769 г.	7 октября 1769 г.
Скорость течения	0,468 фут/сек.	2,576 фут/сек.
Уклон	0,07224 на 1000	0,1157 на 1000
Площадь поперечного сечения	7,265 кв. фута	3066 кв. фута
Смоченный периметр	7,679 фута	338, 988 фута

Если бы проектируемый канал на реке Иветт имел поперечное сечение в форме трапеции (шириной 5 футов по дну и 6 футов по верху), уклон — 0,2083:1000 футов, а глубина потока

при полном наполнении равнялась бы 5 футам, то по формуле Шези скорость составила бы:

по первому опыту — 1,14 фут/сек. ($c=56,5$.)

по второму опыту — 1,599 фут/сек. ($c=79,3$.)

Шези решил, что из-за разницы в уклоне ложа реки и в площадях поперечного сечения первый результат слишком мал, а второй — велик. Он пришел к выводу, что скорость воды в проектируемом канале будет несколько больше 1 фут/сек. при расходе 33,3 фут³/сек. — величине более чем достаточной при заданной величине расхода 17—24 фут³/сек.

Если бы, исходя из своих двух опытов, Шези решил вычислить скорость Сены на основании скорости течения в канале Курпале, он бы нашел, что она составляет не 2,576 фут/сек., а 1,83 фут/сек. Расхождение объясняется тем, что уравнение было получено путем простого сопоставления условий течения в потоках, а следовательно, чтобы были получены хорошие результаты, потоки должны были обладать весьма сходными характеристиками.

В более поздней работе, датированной 1776 г., Шези для ускорения расчетов упростил свою формулу, придав ей такой вид:

$$v = 272 \sqrt{\frac{ah}{p}} \text{ (во французских единицах).}$$

Он, однако, понимал, что числовой коэффициент не во всех случаях постоянен. Его собственные расчеты показывали, что он варьирует в зависимости от реки.

К сожалению, Перроне, воспользовавшись результатами вычислений Шези, не включил его исследование в доклад о канале на реке Иветт. И получилось так, что исключительно ценная работа покрывалась пылью в архивах, пока в 1803 г. не была упомянута Жираром в одной из его записок, а годом позже — в другой записке, составленной Прони. Как ни странно, работа Шези привлекла в Германии большее внимание, чем во Франции, а опубликована была в конце концов в 1897 г. Гершелем в США.

Пьер Луи Жорж дю Бюа (1738—1809), современник Шези, родился в Тортизамбере, в Нормандии. После смерти старшего брата он получил графский титул, который, однако, не принес ему счастья: через два года началась французская революция, и в 1793 г. ему пришлось покинуть родину. Имущество дю Бюа было конфисковано, и когда он в 1802 г. вернулся, ему была возвращена лишь незначительная его часть.

Дю Бюа получил образование в Париже и с 1761 по 1791 г. работал военным инженером. По поручению французского пра-

вительства он в течение многих лет производил эксперименты. Его работа «Принципы гидравлики, проверенные на большом числе опытов» впервые вышла в свет в 1779 г. В 1786 г. книга была расширена до двух томов, а после смерти дю Бюа вышла в трех томах (1816). Эта работа считалась настолько ценной, что была переведена дважды на немецкий, а также на английский язык, причем заслужила похвалу самого Джорджа Вашингтона.

Дю Бюа, по-видимому, не был удовлетворен состоянием науки гидрометрии, ибо в предисловии ко второму изданию своей работы он писал:

«Сейчас, по прошествии стольких веков, мы все еще находимся почти в полном неведении относительно истинных законов движения воды; потребовалось около 150 лет экспериментов, чтобы были открыты законы соотношения количества воды и скорости потока, проходящего через любое отверстие. Нам ничего неизвестно относительно общих закономерностей равномерного течения потоков, омывающих поверхность Земли, и чтобы понять, как мало мы знаем, достаточно окинуть взором то, чего мы не знаем.

Как вычислить скорость течения воды в реке, зная ее ширину, глубину и уклон? Как определить, насколько поднимется вода в реке, если ввести в ее русло еще одну реку, и наоборот, насколько понизится уровень, если часть речных вод отвести? Как определить нужный уклон водовода, чтобы вода текла по нему с определенной скоростью, как рассчитать, при какой емкости русла при данном уклоне город получит то количество воды, которое необходимо для удовлетворения его нужд? Какие очертания надо придать руслу реки, чтобы текущая по нему вода со временем его не деформировала? Как вычислить расход воды в трубопроводе определенной длины, определенного диаметра и напора? Как определить, на сколько устои моста, сооружения плотин или шлюзы подымут уровень воды в реке, на сколько будет распространяться подпор и будет ли данная местность затопляться? Как вычислить длину и другие размеры канала для осушения заболоченных земель, давно непригодных для земледелия? Как найти наиболее целесообразное место для отвода канала или же для слияния рек? Как выработать наиболее выгодную конструкцию судов

и лодок, при которой бы они рассекали воду с наименьшей затратой энергии, как высчитать, в частности, какая мощность необходима, чтобы заставить двигаться тело, плывущее по воде? Все эти и несчетное множество аналогичных проблем еще не могут быть решены. Кто в это поверит?... Все рассуждают о гидравлике, но мало кто в ней разбирается... Из-за незнания законов этой науки мы утверждаем технические проекты, стоимость которых весьма реальна, а выгоды — весьма эфемерны. Мы начинаем осуществлять неосуществимые проекты. Мы обременяем государство, провинции и общины огромными бесполезными расходами, часто даже приносящими потом еще и вред; а если они и приносят пользу, то никак не соотносящуюся с размерами затрат.

Причина такого большого зла, повторяю, неточное знание нами принципов этой науки, ошибочность теории, опровергаемой опытом, скудность наблюдений, сделанных до сих пор, и трудность их осуществления» [7].

Дю Бюа считал, что при установившемся течении сила ускорения, вызывающая движение, должна быть равна сумме сопротивлений, вызываемых вязкостью и трением. Как говорилось выше, такое же положение выдвинул Гульельмини, но французский ученый первым обосновал его аналитически. Шези и дю Бюа исходили из почти одинаковых посылок: дю Бюа считал, что сопротивление пропорционально квадрату скорости или равно $\frac{V^2}{m}$, где m — коэффициент пропорциональности, который должен быть равен составляющей силы тяжести в направлении течения воды, то есть

$$\frac{V^2}{m} = gS \text{ или } V^2 = mgS,$$

Это явно уравнение Шези, выраженное в другом виде. Дю Бюа понимал, что m будет постоянным только для данного поперечного сечения канала и будет изменяться на различных участках пропорционально первой степени гидравлического радиуса R или $\frac{A}{P}$. Он попытался подогнать уравнение типа $V = \sqrt{gRS}$ к данным своих многочисленных опытов и предложил следующую громоздкую формулу:

$$V = \frac{V^{243} \cdot 7g (V\bar{R} - 0,1)}{V^{1/S} - \log V^{1/S} + 1,6} - 0,3 (V\bar{R} - 0,1). \text{ дю.м/сек.}$$

Следует заметить, что в этом уравнении вообще не учтено сопротивление поверхности русла, и не потому, что дю Бюа о нем не знал. Дело в том, что он придерживался абстрактной концепции, будто к поверхности русла плотно прилегает очень тонкий неподвижный слой воды и потому эффект трения обусловлен только взаимодействием между молекулами самой жидкости. Он писал:

«Поскольку вода сама подготавливает для себя поверхность, по которой течет, можно считать, что различные материалы, с которыми она соприкасается, не оказывают заметного влияния на сопротивление движению воды. Мы и в самом деле не нашли, чтобы трение изменялось в зависимости от того, по чему течет вода — по стеклу, свинцу, железу, дереву или различным видам грунта».

Если это и было началом современной теории пограничного слоя, то дю Бюа этого не знал!

Это уравнение оказало огромное влияние на гидрологов XVIII и XIX вв. Оно давало превосходные результаты, и, по словам Дюга, на протяжении последующих 70 лет оставалось непревзойденным алгебраическим выражением. Однако оно не годилось для случаев, выходящих за рамки опытов дю Бюа, а следовательно, не было тем универсальным уравнением, каким его представлял себе автор. Кроме того, это выражение из-за его громоздкости было неудобно для использования, да и появилось оно лишь через четыре года после новаторской работы Шези, хотя совершенно независимо от него.

Паоло Фризи

Паоло Фризи (1727—1784) родился в Милане и первые свои уроки получил в училище при церкви святого Варнавы в родном городе. Впоследствии он стал профессором математики в Миланском университете и членом большинства научных обществ своего времени. В числе его покровителей были эрцгерцогиня австрийская Мария-Терезия, императрица Екатерина II и император «Священной Римской империи» Иосиф II. В гидротехнике Паоло Фризи слыл таким авторитетом, что все проекты

важнейших гидротехнических работ в Италии давались ему на отзыв. Его книга «О способе регулировать реки и потоки» [8], вышедшая в 1762 г., была хорошо принята. Она считалась настолько ценной, что правительство Великобритании оплатило все расходы по ее переводу на английский язык, с тем чтобы ею могли пользоваться английские инженеры, занимавшиеся в Индии ирригационными работами и регулированием рек.

В книге подробно рассмотрены работы итальянской школы в области гидрометрии и исследования течения в открытом русле, принадлежащие Кастелли, Вивиани, Зендрини, Манфредо, Полени, Гранди и, особенно, Гульельмини.

Фризи был уверен, что нашел правильное объяснение происхождения рек и источников:

«Короче говоря, все явления, связанные с паводками, законы, по которым они то спадают, то увеличиваются, вещества, которые они с собой уносят, — все ясно говорит о том, что они происходят от дождевой воды, выпадающей на склонах гор и в русла рек. Видя, как в периоды значительных или умеренных паводков реки переполняются водой, нельзя не предположить, что и при низком уровне вода в реках имеет то же происхождение».

Фризи заблуждался относительно распределения скоростей течения в открытом русле. Он, однако, был отнюдь не одинок. Такие ученые, как Зендрини (1679—1747), Леччи (1702—1776), Микелотти (1710—1777) и Лорнья (1730—1796), относились к параболическому закону распределения скоростей точно так же, как и он. Фризи подробно рассматривает соответствующие места из работ Зендрини [9] и Гранди [10] и приходит к ошибочному выводу:

«Можно считать достаточно убедительно доказанным, что скорость воды, обуславливаемая различными причинами — или свободным ее падением, или давлением на нее верхних слоев, — подчиняется одному закону и прямо пропорциональна корню квадратному высоты, фактической или эффективной».

Лелявский [11, 12] предполагает, что теория параболического распределения скоростей своим появлением на свет обязана тогдашним методам измерения скоростей. С помощью «гидрометрического маятника» (рис. 47 б) скорость измеряют по углу наклона маятника: чем больше угол его отклонения от вертикали, тем выше скорость. По мнению Лелявского, такой

инструмент по мере отдаления от поверхности воды будет все больше завышать значение скорости течения за счет изгиба подвеса.

Далее Лелявский доказывает, что теория параболического распределения скоростей так прочно утвердилась к тому времени в силу присущего людям консерватизма, из-за которого любые обнаруженные отклонения от этой концепции считались результатом ошибок в измерении.

На самом деле соображения Лелявского относительно погрешностей гидрометрического маятника неверны, ибо в условиях нормального течения нить подвеса может изогнуться в направлении, противоположном потоку, как показано на рисунках Лелявского, только на тот короткий промежуток времени, когда маятник опускается и нить приобретает некоторую слабину. Но уже в следующую момент нить под действием потока вытягивается в прямую линию, направленную по течению. При этом, если нижний конец маятника достигает такой глубины, где скорость течения нулевая, то его положение приближается к вертикаль-

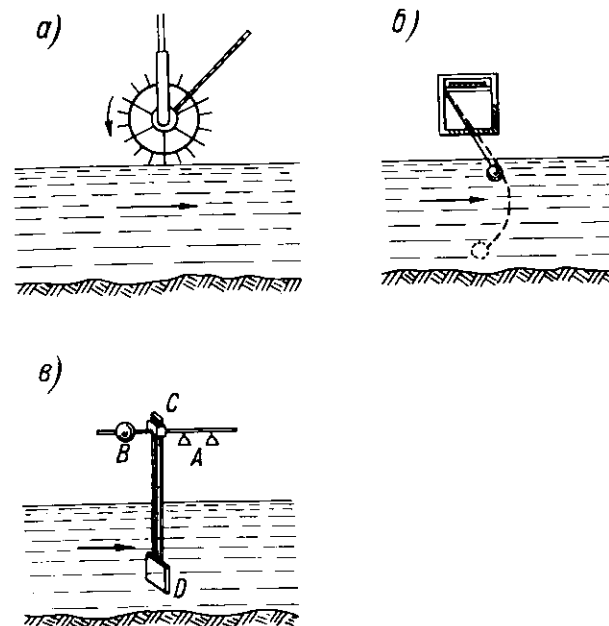


Рис. 47. Приборы для измерения скорости течения.

а — гидрометрическое гребное колесо; б — гидрометрический маятник; в — гидрометрические весы (по Лелявскому)

ному, и такое положение является для него крайним в направлении, противоположном течению.

Фризи писал также об измерении скорости течения воды на поверхности при помощи поплавков и гребного колеса (рис. 47 а). Число оборотов (в единицу времени) колеса, лопасти которого касались поверхности потока, принималось за показатель скорости. Лелявский считает, что применение этого инструмента должно было привести к преуменьшению скорости из-за влияния воды, захватываемой и поднимаемой лопастями колеса.

Может быть, самым важным вкладом Фризи в гидрологическую науку было его утверждение о том, что чисто теоретический подход к изучению потока воды в открытом русле имеет свои границы.

«Размышления, — пишет он, — убеждают нас в том, что все гидравлические проблемы лежат за пределами геометрии и расчетов. Каждая проблема усложняется по мере того, как увеличивается число рассматриваемых случаев и различий между ними и разнообразятся условия, в которых они происходят.

Так, проблемы механического свойства тем сложнее, чем больше исследуется движущихся тел, так или иначе влияющих друг на друга... А ведь в жидкой массе, движущейся по трубе или, что то же самое, по руслу, количество взаимодействующих тел бесконечно... Отсюда следует, что характеристика движения каждого тела требует бесконечного множества уравнений, а это, конечно, не под силу алгебре».

Следовательно, заключил Фризи, гидрометрию следует относить к физике, а не к математике. Эта мысль впоследствии была подхвачена учеными других стран.

Паоло Фризи не обогатил гидрологию сколько-нибудь выдающимися собственными теориями, но его работа представляла собой прекрасную компиляцию, сильно способствовавшую распространению гидрологических знаний во всем мире, а это уже большая заслуга перед наукой.

В последней четверти XVIII в. престиж итальянской школы постепенно упал: в течение некоторого времени, предшествующего рассматриваемому здесь периоду, в Италии не появлялось значительных новых идей, хотя вышло в свет немало книг и трактатов о реках и каналах, в которых обсуждалось состояние гидрологической науки.

Джованни Баттиста Вентури

Джованни Баттиста Вентури (1746—1822) был профессором натурфилософии сначала в Университете Модены, а затем Павии. В Италии он был известен как инженер, строитель мостов и, по видимому, как очень талантливый экспериментатор в области гидравлики. Опыты он в течение долгого времени производил в физической лаборатории Моденского университета, а результаты своих исследований обобщил в книге «Экспериментальные исследования принципов боковой передачи движения жидкости», изданной в Париже в 1797 г.

Вентури экспериментально исследовал влияние сужений и расширений в открытых руслах, а также ставил многочисленные опыты с отверстиями и короткими трубками всевозможных форм. Известности Вентури в большой мере способствовал Клеменс Гершель, благодаря которому лоток определенного профиля широко известен теперь под названием «лоток Вентури». Правда, Вентури далеко не первым проводил опыты с лотком такого сечения. Им интересовались многие и до него, в частности Бернулли и Борда.

Книга Вентури представляет собой простое описание его опытов без каких-либо попыток проанализировать их или произвести расчеты. Он рассматривает действие завихрений в открытых руслах и отмечает, что аналогичные явления можно наблюдать в атмосфере. Он доказывает, что образование вихрей замедляет движение воды, а следовательно уменьшает ее расход. Одной из интересных идей Вентури было применение принципа гидравлического прыжка для дренажа, как это показано на рис. 48, [13].

«В точке F вода стремится стечь по линии FK ; но течение, благодаря боковому воздействию, постоянно уносит ее в сторону и не дает стечь к K . Если в боковой стенке трубы проделать отверстие G , то через него можно отвести воду с земель, расположенных ниже потока, текущего по FL ».

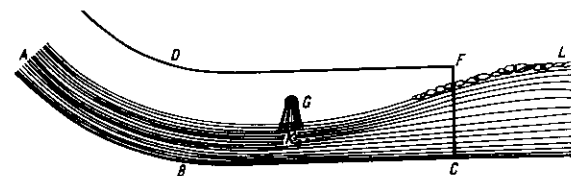


Рис. 48. Использование гидравлического прыжка при осушении, по Вентури.

После Галлея первые основательные измерения испарения произвел Д. Добсон, который четыре года подряд, с 1772 по 1775-й, вел наблюдения над осадками, испарением и температурой воздуха [14]. Он производил измерения в районе Ливерпуля, посередине открытой солнцу, ветру и дождю травянистой лужайки, расположенной на высоте 75 футов над уровнем моря. Добсон, по его словам,

«взял два хорошо отполированных оловянных сосуда; один служил дождемером, во втором измерялось испарение. Второй сосуд имел форму цилиндра диаметром 12, глубиной 6 дюймов. Дождемер представлял собой воронку, также диаметром 12 дюймов, нижний конец которой вставлялся в бутылку; во избежание испарения из бутылки воронка соединялась с ней навинчивающейся пробкой».

Уровень воды во втором сосуде поддерживался на 2 дюйма ниже его края. В зависимости от количества осадков или величины испарения воду отливали или добавляли, так чтобы уровень воды оставался неизменным. Зная количество осадков и количество долитой или отлитой воды, Добсон мог вычислить месячную величину испарения. Температура измерялась ежедневно в 2 часа пополудни по термометру, помещенному на стенке в тени. Этот метод страдал многими недостатками: трудно было восстановить уровень воды в сосуде точно до первоначального, а также правильно измерить количество добавляемой или убавляемой воды (включая потери от разбрызгивания). Кроме того, часть воды могла переливаться через край.

Пользуясь данными Добсона, Дж. Родда [15] вычислил количество воды, испарившейся за этот же период, при помощи уравнения

$$E = 0,17T - 7,18,$$

где E — месячная величина испарения из сосуда в дюймах, T — средняя месячная максимальная температура воздуха по Фаренгейту.

Даже если учесть, что в уравнение не были введены поправки на разницу климатических условий между Уоллингфордом* (Родда) и Ливерпулем (Добсон) и на другие условия, влияющие на испарение, величины, полученные Добсоном, представляются относительно высокими. Это предположение подтверждается частично подсчетами Пенмана, который определил, что средняя годовая величина испарения в Саутпорте составляет 26 дюймов.

Впоследствии Джон Дальтон применил метод Добсона для определения испарения в Кендале за 82 дня марта, апреля, мая и июня. Он получил результат 5,414 дюйма. Наибольшее испарение за сутки в этот период не намного превышало 0,2 дюйма. Дальтон утверждал, что некий доктор Хейл на основании немногочисленных опытов пришел к выводу, что «ежегодно с дерна и с влажной почвы испаряется 6,66 дюйма влаги», что, по мнению Дальтона, было «намного меньше истинной цифры». Епископ Лландофа обнаружил, что «в сухой сезон с одного акра скошенного травянистого участка ежедневно испаряется около 1600 галлонов влаги, или слой воды около 0,07 дюйма; после дождя испарение намного больше».

С помощью своего друга Томаса Хойла Джон Дальтон с осени 1795 г. производил наблюдения над испарением в неизвестном пункте около Манчестера. Он использовал цилиндрический сосуд из луженого железа, диаметром 10 дюймов, глубиной 3 фута. К сосуду были присоединены две трубки — одна у дна, вторая в дюйме от верха. Сосуд был наполнен на несколько дюймов гравием и песком, а в остальной части — хорошей свежей почвой.

«Затем сосуд поместили в углубление в почве и засыпали землей, оставив открытой одну сторону, чтобы к трубкам можно было присоединить бутылки. Далее в сосуд наливали столько воды, чтобы земля ею пропиталась и излишек мог свободно стечь» [16].

Первые несколько недель земля находилась на уровне верхней трубки, но затем она опустилась ниже него, так что вода уже не могла стекать по трубке. В первый год земля в сосуде была голой, а в последние два года она покрылась травой. Тщательно отмечалось количество дождевой воды, стекавшей с поверхности земли по верхней трубке, а также количество воды, просочившейся сквозь гравий и песок и поступившей в нижнюю трубку. Количество осадков, выпавших в соответствующий период, измерялось при помощи цилиндрического сосуда таких же размеров, как тот, что применялся для измерения испарения. Дальтон исходил из предположения, что в его опыте испарение минус дождевые осадки равно количеству воды в обеих бутылках.

На основании проведенного эксперимента Дальтон заключил: 1) при данных условиях годовое испарение составляло 25 дюймов; 2) испарение увеличивается с увеличением осадков, но не в прямой зависимости; 3) между испарением с голой земли и с земли, покрытой травой, нет никакой разницы.

В следующей работе Дальтон изложил результат своих наблюдений в период 1799—1801 гг. над испарением с поверхности воды, находящейся в цилиндрическом сосуде диаметром 10 дюймов [17]. В 1802 г. он предложил обобщенную теорию упругости водяного пара, которая явилась надежной основой для определения величины испарения с поверхности воды. Дальтон исходил из установленного экспериментальным путем факта, что при данных условиях скорость испарения пропорциональна дефициту упругости пара. В математическом выражении этот закон имеет такой вид:

$$E = C(e_w - e_a),$$

где E — скорость испарения в дюймах за день; C — коэффициент, зависящий от различных неучтенных факторов, влияющих на скорость испарения; e_w — упругость насыщенного водяного пара (в единицах ртутного столба); e_a — фактическая упругость пара.

Формула Дальтона широко применяется и сейчас, с небольшими изменениями, учитывающими воздействие ветра и температуру воздуха.

Начало экспериментальных исследований уменьшения испарения при помощи нефтяной пленки положил Бенджамин Франклин (1706—1790). В 1765 г. он в порядке опыта покрыл нефтью поверхность большого пруда в Клапхэм-Коммон в Англии. В письме некоему Уильяму Браунриггу он писал, что если поместить каплю нефти на лежащее горизонтально зеркало или на отполированный стол, то она останется на месте, тогда как

«на воде она немедленно расплывается и становится настолько тонкой, что на значительной поверхности приобретает радужные цвета, как при разложении света в призме, а за пределами этой области создает совсем тонкую невидимую пленку, обнаруживаемую только по эффекту успокоения волн на больших расстояниях от центра» [18].

Франклин, по-видимому, в первую очередь интересовался применением нефти для успокоения волн. На основании проделанного опыта он пришел к выводу, что минимальная толщина пленки должна быть около 25 ангстремов.

Другие работы по усовершенствованию приборов
и методики наблюдений

Уильям Херберден, наверное, первым начал изучать изменение количества атмосферных осадков с изменением высоты местности [19]. Это явление заинтересовало его, когда он сравнил показания двух одинаковых дождемеров, установленных в Лондоне на расстоянии мили друг от друга. Он обнаружил, что один из дождемеров неизменно показывает большее количество осадков, чем другой, причем не только за месяц, но и за отдельный дождь. Он решил, что «это неожиданное отклонение» должно быть так или иначе связано с разницей в высоте, ибо один прибор был помещен над окрестными домами, а другой находился значительно ниже. Чтобы проверить свое предположение, Херберден взял два дождемера; один он установил на дымовой трубе жилого дома (вероятно, в Лондоне), а второй — в саду того же дома. Полученные результаты подтвердили его догадку, и тогда он решил поставить третий дождемер на крыше Вестминстерского аббатства. Наблюдения производились ежемесячно на протяжении года, но Херберден так и не смог выяснить причину расхождения данных наблюдений. Он ошибочно предположил, что:

«Это явление связано с какими-то доселе неизвестными свойствами электричества. Эта сила, несомненно, играет важную роль в выпадении дождя, не случайно дождь почти никогда не выпадает, если в воздухе не появляются определенные признаки электричества и воздух и электрическая аппаратура не остаются достаточно сухими» [19].

Немецкий инженер Рейнхард Вольтман (1757—1837) почти всю свою жизнь работал в управлении портов и судоходства в Ганновере. В своей книге «Теория и практика гидрометрической вертушки», изданной в 1790 г., он описал вертушку с лопастями на спицах и со счетчиком оборотов для определения расхода воды в реках (рис. 49).

На протяжении многих лет после смерти Вольтмана из уважения к его памяти каждую улучшенную модель изобретенной им вертушки называли «вертушкой Вольтмана». В учебниках

по гидрологии и гидравлике и во многих статьях приводились чертежи этих улучшенных моделей, и все они ошибочно приписывались Вольтману.

Важные экспериментальные работы проводили Микелотти в Турине и аббат Боссю (1730—1814) в Париже. Микелотти, пользуясь покровительством короля Сардинии, поставил ряд опытов, результаты которых были опубликованы в 1774 г. Боссю производил свои эксперименты за счет французского правительства, а результаты опубликовал между 1771 и 1778 гг. Оба эти ученых провели несколько исследований, касавшихся проблем течения воды в реках и каналах.

Жан-Клод де ла Метьер (1743—1817) углубил теорию гидрологического цикла. Он доказывал, что выпавшие атмосферные осадки распределяются по трем направлениям: во-первых, стекают непосредственно в реки и каналы; во-вторых, высвобождаются благодаря испарению, транспирации растений и увлажнению почвы; в-третьих, просачиваются на большую глубину и питают водой источники.

Среди английских ученых, способствовавших своими работами развитию гидрологии в XVIII в., следует назвать уроженца Лидса Джона Смита (1724—1792), которому принадлежат

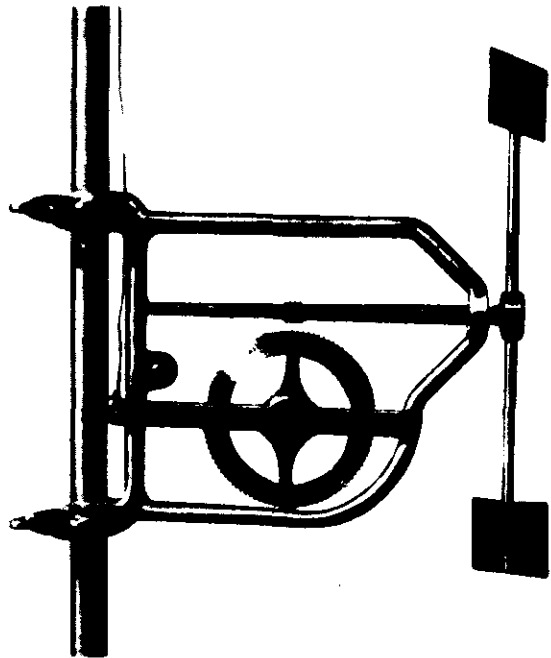


Рис. 49. Первоначальная модель вертушки Р. Вольтмана (реконструкция А. Фразье).

проекты различных портовых сооружений и осушительных систем. Но главной его заслугой были испытания моделей водяных колес и ветряных мельниц.

В XVIII в. было написано много статей и монографий о течении воды в открытом русле. Наиболее важные из них упомянуты в этой главе. В числе других ученых этого периода следует назвать французских исследователей Пьера Вариньона (1654—1722), Бернара Форе де Белидора (1693—1761), Алексиса Клода Клеро (1713—1765), Жана Лерона Д'Аламбера (1717—1783), Жана Шарля Борда (1733—1749) и Жана Антуана Фабра (1749—1834); итальянских — Антонио Леччи (1702—1776) и Антонио Марио Лорнья (1735—1796); английских — Джона Теофиля Дегаулье (1683—1744) и Джеймса Джурина (1684—1750); голландца — Кристиана Брюнинга (1736—1805).

Заключение

В XVIII в. развитие гидрологии затрагивало в основном область поверхностных вод. Важные результаты экспериментальных исследований были получены итальянскими и французскими учеными. В начале века преобладало влияние итальянской школы, но постепенно она уступила пальму первенства французской. Причина вполне ясна: итальянские гидрологи писали и переписывали то, что уже сообщалось до них, а следовательно, чаще всего их работы не содержали важных принципиальных положений или новых теорий.

Новый прибор Пито, хотя он и появился на свет благодаря двум ошибочным гипотезам, произвел революцию в методах измерения скорости течения воды в реках. Его применение позволило экспериментальным путем доказать ошибочность теории параболического распределения скоростей в реках и каналах. Эта абсурдная теория сильно тормозила нормальное развитие научной теории течения воды в открытом русле. Несомненно, в этот период наибольшим влиянием (ощущавшимся еще и в XIX в.) пользовался дю Бюа. Он и Борда одними из первых вывели правильное уравнение истечения: $v = \sqrt{2gh}$. Но наибольшая заслуга дю Бюа перед гидрологией — его количественные исследования расхода воды. Используя всю совокупность собранных данных, он нашел алгебраическое выражение для вычи-

сления расхода воды в открытом русле. Правда, из-за его громоздкости им было нелегко пользоваться, да и применимо оно было лишь в узких границах его экспериментов, но тем не менее для того времени это было немалым достижением.

Современные гидрологи лучше знают формулу Шези, чем дю Бюа. Обе формулы основываются на почти одинаковых предположениях, но первым вывел свою формулу Шези. К сожалению, ни дю Бюа, ни другие исследователи ничего не знали о работе Шези, ибо она была опубликована только в XIX в. Уравнение Шези осталось в своем простейшем виде, тогда как дю Бюа попытался разработать обобщенное выражение, пригодное для универсального применения. Кроме того, в отличие от формулы дю Бюа, формула Шези основывалась на экспериментах, делавших возможным применение ее для решения специфических проблем. Оглядываясь назад, нельзя не признать крайне несправедливым, что сегодня все исследователи в области гидрологии или гидравлики открытых русел знают уравнение Шези, но очень немногие хотя бы слышали о существовании дю Бюа!

Введение В XIX в. накопление знаний в области гидрологии шло поразительно быстрыми темпами. К этому времени прочно укоренились экспериментальные методы исследования, успешно введенные в гидрологию учеными XVII в. Перро, Мариоттом и Галлеем. Наибольшее значение, несомненно, имели исследования подземных вод и измерения поверхностного стока. В начале XIX в. ведущее положение в гидрологии и гидравлике еще сохраняла французская школа.

Формулы для расчета скорости течения и расхода воды

До 1897 г. уравнение Шези было почти неизвестно, и до этого времени гидрологи пользовались в основном формулой скорости потока, выведенной дю Бюа. Главной проблемой в этот период было установление зависимости между скоростью (а следовательно, расходом воды) и сопротивлением, создаваемым трением. Выдвигались многочисленные теории и формулы, в которых делались попытки установить связь между скоростью течения, гидравлическим уклоном и гидравлическим радиусом. Среди ученых, занимавшихся этим вопросом, выделяются французские исследователи барон Гаспар Клер Франсуа Мари Риш де Прони (1755—1839) и Пьер Симон Жирар (1765—1836) и немецкий исследователь Иоганн Альберт Эйтельвейн (1764—1848).

Прони, родившийся в Шамелё близ Лиона, участвовал в строительстве нескольких инженерных сооружений во Франции и Италии. Он был учеником Шези и впоследствии был назначен ди-

ректором Училища путей сообщения. Жирар, родившийся в г. Кан (Нормандия), также закончил это училище. Он принял участие в египетском походе Наполеона, а потом стал управляющим водоснабжением Парижа. Эйтельвейн родился во Франкфурте. Его имя связано со строительством нескольких портов и работами по регулированию речных русел. Он перевел на немецкий язык несколько книг по гидравлике, в том числе работу дю Бюа. Труд самого Эйтельвейна «Руководство по механике твердых тел и гидравлике» вышел в свет в 1801 г. В 1826 г. была издана его работа по гидростатике [1], оказавшая большое влияние на гидрологов и гидравликов Германии. В начале XX в. она считалась классическим трудом в этой области.

Теоретические основы всех формул для расчета расхода жидкости, существовавших в начале XIX в., были изложены в работе Шарля Огюстена де Кулона (1736—1806), опубликованной в 1800 г. [2]. Кулон прикреплял диски различного размера к концу латунной проволоки и погружал их в различные жидкости. Сила сопротивления определялась по тому, как скоро прекращались вращательные движения диска. Эти сложные опыты убедили Кулона в том, что сопротивление движению жидкости может быть представлено в виде функции, состоящей из двух членов, один из которых пропорционален первой степени скорости, а другой — второй.

В 1803 г. П. Жирар первым применил закон сопротивления Кулона к расчетам течения воды в реках и каналах, но он пользовался одним и тем же числовым коэффициентом для обеих степеней скорости, а именно:

$$gRS = C(V + V^2).$$

Жирар сделал лишь беглую попытку проверить уравнение и величину постоянной C .

В следующем году Прони рассмотрел ряд формул течения воды в открытых руслах, а также истечения через отверстия. Он пришел к выводу, что закон сопротивления, выведенный Кулоном, является частью бесконечного ряда:

$$C + aV + bV^2 + cV^3 + \dots$$

Средняя скорость V определялась по значению поверхностной скорости U : $V = 0,816458U$, или, приближенно, $V = \frac{4}{5}U$.

В отличие от Жирара, Прони использовал в формуле сопротивления два отдельных коэффициента [3]:

$$RS = 0,0000444499V + 0,000309314V^2.$$

Другую пару коэффициентов предложил в 1817 г. Эйтельвейн [4]:

$$RS = 0,000024V + 0,000366V^2.$$

Принималось, что оба эти коэффициента не зависят от степени граничной шероховатости. Коэффициенты Прони широко применялись французскими учеными и инженерами, тогда как в других странах большим признанием пользовалась формула Эйтельвейна. Для более высоких скоростей она может быть сведена к формуле вида формулы Шези, если признать, что сопротивление пропорционально квадрату скорости, то есть:

$$V = 50,9\sqrt{RS}.$$

Это уравнение с коэффициентом 50 в тридцатых годах XIX в. было очень популярно в Италии, где оно называлось формулой Тадини. В 1850 г. о нем одобрительно отозвался Куртуа [4].

В 1845 г. Лакмейер [5] пытался учесть влияние кривизны русла. При радиусе r и ширине w предложенное им уравнение выглядело так:

$$\frac{RS}{V^{3,2}} = 0,0004021 + 0,002881 \sqrt{\frac{w}{r}}.$$

При прямом канале $r = \infty$, а следовательно:

$$V = 49,87 V^{\frac{1}{4}} R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}.$$

В следующем году де Сен-Венан предложил другую формулу, снабдив ее таблицами для облегчения вычислений [6]:

$$V = 60(RS)^{11,21}.$$

Однако это уравнение, видимо, не получило широкого применения.

Эйтельвейн проанализировал данные экспериментов итальянца Леонардо Хименеса (1716—1786) и голландца Христиана Брюнингса (1736—1805) с целью получить эпюры распределения скоростей, но результаты оказались противоречивыми. В конце концов он предложил линейный вариант формулы. Скорость v на глубине d от поверхности воды равна:

$$v = (1 - 0,0127d)U.$$

Анри Филибер Гаспар Дарси (1803—1858) родился в Дижоне, образование получил в Париже. Незадолго до 1850 г. Дарси по заданию муниципалитета Дижона занимался проектированием и строительством системы водоснабжения этого города. Подробный отчет о проекте, опубликованный в 1856 г. [7], содержал технические данные, исторические сведения, юридические ссылки и несколько приложений. Эта работа имела такой успех, что Дарси был приглашен в Брюссель как консультант по аналогичному проекту.

Около 1855 г. усиливающееся нервное расстройство заставило Дарси ограничить свою работу только гидравлическими исследованиями. В этом деле он имел способного помощника в лице самого Анри Эмиля Базена (1829—1917). Поселившись в 1854 г. в Дижоне, Базен устроился на работу к Дарси. Вместе они произвели в лаборатории ряд опытов, до того времени не имевших себе равных по совершенству. Ученым повезло в том, что правительство Второй империи, прежде всего желая доказать свой либерализм, покровительствовало их интересным изысканиям. Базен завершил их с необыкновенным мастерством в 1860 г., через два года после смерти Дарси. В 1875 г. он получил должность главного инженера, а в 1886 г. — генерального инспектора. В отставку он вышел в 1900 г., когда не смог добиться ассигнований для продолжения своих опытов. Умер Базен в 1917 г.

Написанная им совместно с Дарси книга «Гидравлические исследования» вышла в 1865 г. [8]. В ней приведены эпюры распределения скоростей для различных типов русел, которые были получены при помощи улучшенного варианта трубки Пито, придуманного Дарси (он несколько напоминает современные модели). Опыты Дарси и Базена доказали, что в естественных реках и широких каналах вода с наибольшей скоростью движется на поверхности. В середине широких водотоков, где влияние стенок равно нулю, скорость v на расстоянии d от поверхности составляет:

$$\frac{V_{\max} - v}{H_i} = 20 \left(\frac{d}{H} \right)^2,$$

где линейные измерения выражены в метрах.

В узких каналах, где ширина в пять раз меньше глубины, наибольшая скорость была найдена на некоторой глубине от поверхности. Дарси и Базен проводили опыты в канале длиной 596,5 метра. Вода в него поступала из Бургундского канала близ Дижона и стекала затем в реку Уш. На разных участках канал

имел прямоугольное, трапецеидальное, треугольное и полукруглое сечение и был облицован различными материалами.

Дарси и Базен писали:

«Если существует теоретическая формула, приложимая ко всем случаям, она неизбежно должна быть очень сложной, и при наших скудных познаниях о законах движения жидкостей мы не можем надеяться вывести ее в ближайшее время. Нынешнее состояние науки вынуждает нас ограничиваться поисками эмпирических формул, достаточно точных для того, чтобы мы могли пользоваться ими на практике и при расчетах» [8].

На основании опытов Дарси и Базен вывели соотношение;

$$RS = \left(a + \frac{b}{R} \right) V^2.$$

Оно отличается от уравнения Прони следующего вида:

$$RS = \left(a + \frac{b}{V} \right) V^2.$$

Формула Дарси — Базена привлекла к себе пристальное внимание ученых, но наличие в ней двух переменных коэффициентов ограничивало ее практическое применение. Понимая это, Базен в 1897 г. предложил другое уравнение, всего лишь с одним переменным коэффициентом [9]. Оно известно под названием формулы Базена. Эта формула гласит:

$$C = \frac{157,6}{1 + (1,81\gamma\sqrt{R})} \text{ (фут/сек),}$$

где γ — коэффициент шероховатости, отражающий характеристики русла.

Дарси и Базен произвели также ряд опытов над истечением воды через отверстия и течением по трубам и разработали соответствующие расчетные формулы.

Гемфрис и Аббот

Эндрю Аткинсон Гемфрис (1810—1833) и Генри Ларком Аббот (1831—1927), оба выпускники Уэст-Пойнта*, с 1851 по 1860 г. занимались съемкой дельты Миссисипи. Это, конечно, была не первая речная съемка, но, бесспорно, самая обширная

из всех. Сначала съемкой руководил Гемфрис. Он работал очень самоотверженно, проводил много времени в поле и в конце концов серьезно заболел. После выздоровления он был командирован в Европу для изучения новейших успехов гидрологии и водного хозяйства. В 1857 г. Аббот был назначен его помощником. В 1861 г. они опубликовали «Доклад о гидрологии и гидравлике реки Миссисипи» [10], который тут же стал «бестселлером». Этот монументальный труд состоит из 610 страниц. Часть его немедленно была переведена на многие иностранные языки. Доклад содержал обзор состояния речной гидравлики, частично сделанный, по словам авторов, ими самими, а частично заимствованный из аналогичных обзоров Ренни, Ломбардини, Стороу и других, а также из различных энциклопедий.

Для измерения скорости течения Гемфрис и Аббот применяли почти исключительно двойные поплавки и обнаружили, что при одинаковых уровнях воды величина расхода может колебаться в пределах до 20%, в зависимости от того, повышается уровень или понижается. Для установления зависимости между уровнем и расходом они использовали осредненные уровни. Предложенная ими формула для определения величины расхода воды в реке была довольно сложной. Она основывалась на наблюдениях, произведенных на различных водотоках — от огромных, как могучая Миссисипи, до небольших искусственных каналов, на которых производил опыты дю Бюа. Ценность этой формулы в том, что она первая из ряда ей подобных претендует на точность и ясность. Формула не содержит коэффициента шероховатости. По этой или иной причине она не получила большого распространения. Несомненно, главное достоинство всей работы Гемфриса и Аббота — скрупулезность.

Гангилье и Куттер

Два швейцарских инженера, Эмиль Оскар Гангилье (1818—1894) и Вильгельм Рудольф Куттер (1818—1888), интересовались проблемами течения воды в открытых руслах и провели ряд опытов на швейцарских горных потоках. Гангилье был главным инженером Министерства общественных работ в Берне, а Куттер работал в его штате.

Гемфрис и Аббот предложили Гангилье и Куттеру проверить правильность выведенной ими формулы. Те выяснили, что уравнение американских инженеров пригодно только для водотоков с небольшим уклоном русла, и попытались найти формулу для расхода воды в любых руслах. При этом они руководствовались как собственными исследованиями, так и многими другими надежными источниками. На основе проведенного ими анализа они пришли к выводу, что:

«Обе формулы равно непригодны для универсального применения. Формула Базена так же неприменима для Миссисипи, как формула Гемфриса и Аббота для русел с большим уклоном. Но если ввести в уравнение Базена коэффициент, учитывающий уклон русла, оно может явиться основой для выведения общей формулы, тогда как американской формуле придать универсальный вид нельзя» [12].

В уравнении Шези коэффициент C по Гангилье и Куттеру составлял (в фут/сек):

$$\frac{41,65 + 0,00281'S + 1,811'n}{1 + (41,65 + 0,00281'S)n/\sqrt{R}}$$

Уравнение швейцарских ученых немедленно привлекло к себе внимание, и номер журнала за 1869 г., в котором оно было

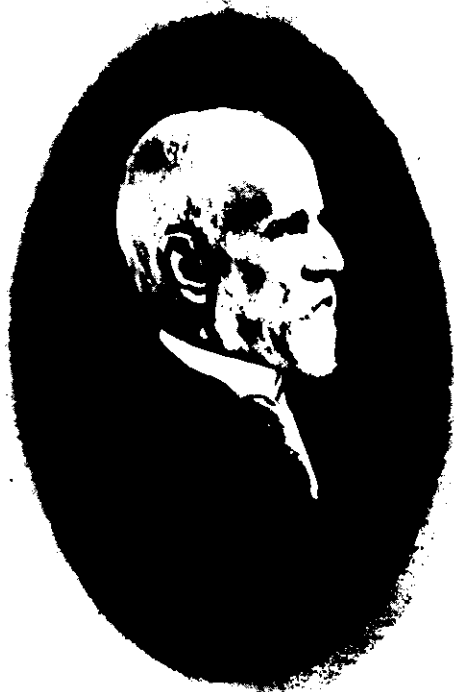


Эндрю Гемфрис.

опубликовано, разошелся очень быстро. В 1877 г. они переработали и дополнили свою статью и издали ее отдельной книгой [12]. Вскоре она была переведена на несколько иностранных языков. По словам Маннинга, английский перевод статьи, появившийся в 1876 г., «был встречен весьма благожелательно всеми учеными».

Авторы уравнения оправдывали его сложность тем, что «любая формула, претендующая на универсальность, не может не быть очень сложной». Маннинг одним из первых указал на неоднородность размерности членов, входящих в это выражение. Впоследствии Форххаймер отметил, что для большей точности следовало бы при выведении средних величин исключить первоначальные данные о расходах воды Миссисипи.

Несмотря на недостатки формулы Гангилье — Куттера, ею широко пользовались во всем мире. В 1905 г. М. Мерримэн писал:



Г. Л. Аббот.

«Ей придается такое значение, что без нее не обходится проектирование ни одного водовода или канала, даже если в конце концов строительство и не основывается на ней».

Роберт Маннинг

Роберт Маннинг (1816—1897), ирландец по происхождению, родился в Нормандии, через год после битвы при Ватерлоо, в которой принимал участие его отец. Первый закон о проведении осушительных работ в Ирландии, принятый в 1842 г., содержал



Э. О. Гангилье.

статью о том, что эти работы должны планироваться и осуществляться сотрудниками центрального правительства под руководством Министерства строительства. Первым уполномоченным правительства по проведению этих работ был Уильям Т. Мальвани. Маннинг в январе 1846 г. поступил в министерство на должность клерка, а впоследствии стал главным инженером Управления общественных работ. В его ведении были планирование, проектирование и строительство осушительных систем и портовых сооружений.

Работы Маннинга безусловно свидетельствуют о том, что он считал себя гидрологом [13, 14]. Из них главная — его статья «О течении воды в открытых руслах и трубах» [14], которую он



Р. Маннинг.

4 декабря 1889 г. представил в Институт гражданских инженеров Ирландии. В самом ее начале он воздаст гидрологии вполне заслуженную похвалу:

«Среди различных отраслей знания, необходимых инженеру-строителю, нет более важных, чем те, которые объединяются под всеобъемлющим названием *Гидрология*».

Подобно дю Бюа и Базену, он указывал на несовершенное состояние гидрологии и гидравлики:

«Даже сейчас, — писал он, — среди гидрологов много разногласий, и каждый заявляет о своем превосходстве над предшественниками или категорически утверждает, что введенный им закон — единственно верный».

В 1867 г., за 22 года до появления статьи Маннинга, французский инженер Филипп Гаспар Гауклер (1826—1905), сотрудник Управления путей сообщения, предложил следующие две обобщенные формулы для русел всех видов (выбор формулы зависит от уклона русла) [15, 16]:

$$V = \lambda_1 R^{\frac{4}{3}} S \text{ для } S < 0,0007,$$

$$V = \lambda_2 R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \text{ для } S > 0,0007.$$

В 1881 г. Хаген вывел, пользуясь данными Куттера, формулу, чрезвычайно близкую ко второй формуле Гауклера, хотя, вероятно, совершенно независимо от него [17]. Но Хаген при этом не вводил никаких ограничений в отношении уклона. Маннинг тоже, по-видимому, не знал формул Гауклера, когда на основании анализа различных экспериментальных данных пришел к выводу, что по всей вероятности, выражение $V = CS^{1/2} R^{2/3}$ достаточно точное. Совершенно очевидно, что это уравнение не отличается от второй формулы Гауклера. Маннинг воспользовался ею для расчета скорости воды в 170 экспериментах, проведенных Базеном, Куттером, Реве, Фтели и Стирнсом, Гемфри-

сом и Абботом, и обнаружил, что только в 25 случаях полученная им величина отклонялась от фактической скорости больше чем на 7%. По этому поводу Маннинг заявил [14]:

«Хотя автор вывел эту формулу в 1885 г. независимо от других исследователей, необходимо указать, что, как пишет майор Аллан Каннингем в статье «Новые гидравлические эксперименты» («Труды Института гражданских инженеров», 1882), результаты экспериментальных работ Куттера были недавно использованы доктором Хагеном... который при помощи метода наименьших квадратов вывел формулу $V = CR^{2/3}S^{1/2}$, но, по-видимому, при пользовании ею будут возникать огромные ошибки».

Маннинг, однако, не был удовлетворен выведенной им формулой, прежде всего из-за ее неправильной размерности, да и дробные показатели степени типа $2/3$ были неудобны для практического употребления. Отвергнув формулу, которая в настоящее время известна под названием формулы Маннинга, он предложил другую:

$$V = CV\sqrt{g} \left[R^{1/2} + \frac{0,22}{m^{1,2}} (R - 0,15) \right],$$

где V — коэффициент, зависящий от характера русла (это не C , выведенное Шези), а m — атмосферное давление в единицах ртутного столба. Приняв, что m равняется давлению в 30 дюймов ртутного столба, Маннинг свел свою формулу к такому выражению:

$$V = 62S^{1/2} \left(R^{1/2} + \frac{R}{7} - 0,05 \right) \text{ фут/сек}$$

или

$$V = 34S^{1/2} \left(R^{1/2} + \frac{R}{4} - 0,07 \right) \text{ м/сек.}$$

Эта формула поразительна тем, что в нее включено барометрическое давление. Маннинг очень хорошо понимал, как важно, чтобы любая формула, описывающая физический процесс, была однородной по размерности, а удовлетворить это требование он мог, только включив величину m . Как и дю Бюа, он пришел к выводу, что все ученые пренебрегают одним необходимым членом уравнения, «очень незначительным по величине, практически постоянным и входящим под квадратным корнем». Кроме того, только учтя барометрическое давление, Маннинг мог получить правильные значения расхода воды, проходящего по тру-

бам малого диаметра (следует напомнить, что Маннинг искал общую формулу, выражающую скорость потока и в трубах, и в открытых руслах). А. Фламан, ознакомившийся в 1890 г. с работой Маннинга в рукописи, рекомендовал в своей книге «Прикладная механика и гидравлика», вышедшей в 1891 г., пользоваться более простой формулой:

$$V = CR^{2/3}S^{1/2}.$$

В 1889 г. Уилкоккс и Холт назвали это уравнение формулой Маннинга, их примеру последовал в 1911 г. Р. Б. Бакли [18]. Таким образом, отвергнутое Маннингом выражение со временем получило широкую известность под названием «формула Маннинга». Маннинг потратил четыре года на уточнение своей универсальной формулы, но, по иронии судьбы, сейчас его имя связывают с уравнением, которое он первоначально отверг как недостаточно удобное для применения.

Наблюдения над речным стоком

Хотя измерения уровня Нила проводились еще на заре цивилизации, до XVII в. наблюдения над речным стоком носили скорее качественный, чем количественный характер. Например, в кратких описаниях наводнений на Роне, Луаре и Сене в 563, 572 и 583 гг. больше всего говорится об ущербе, нанесенном недвижимости, о гибели людей и скота.

Важной вехой в деле измерения речного стока несомненно была выведенная Кастелли формула $Q = AV$. С ее помощью даже тогда удавалось довольно точно определить величину стока, но дальше наука продвигалась очень медленно. Только в начале XVIII в. возник интерес к регулярным наблюдениям над уровнем воды и их анализу. Так, в 1870 г. Маас, инспектор гидротехнических работ в Пруссии, опубликовал данные наблюдений над уровнем воды р. Эльбы, проводившихся в течение 143 лет, с 1727 по 1869 г. [19]. В 1837 г. выдающийся немецкий гидрограф Генрих Бергхауз опубликовал свою работу [20], в которой проанализировал данные о высших, низших и средних уровнях воды на следующих реках:

Рейн у Эммериха (на границе с Голландией), с 1770 по 1835 г. (за 66 лет);

Рейн у Кёльна, с 1782 по 1835 г. (за 54 года);
Эльба у Магдебурга, с 1728 по 1835 г. (за 108 лет);
Одер у Кюстрина, с 1778 по 1835 г. (за 58 лет).

Впоследствии Векс [21] произвел детальный анализ уровней пяти главных рек Центральной Европы и «привел бесспорные доказательства» того, что расход воды в реках на протяжении длительного периода постоянно уменьшается. Он, впрочем, пришел к утешительному выводу:

«Не следует, однако, опасаться, что уровень воды в Дунае, Рейне, Эльбе и Висле понизится до самого дна, то есть что они почти пересохнут, ибо первые две реки частично питаются альпийскими льдами и снегами; причины же, вызывающие понижение уровня воды, будут действовать, очевидно, лишь до определенного пункта, да и многие притоки этих рек, как правило, разливаются и спадают в различные периоды».

Трудно сказать, чем руководствовался Векс, приводя последний аргумент: на самом деле изменения расхода воды всегда происходят на всех притоках. Предпринятая впоследствии проверка данных Векса путем внесения систематических поправок в данные о высоте уровня воды отпровергла его утверждение о прогрессивном уменьшении речного стока.

Джервис [22] представил в графической форме данные о минимальных и максимальных уровнях Нила по показаниям ниломера на острове Рода за период с 622 по 1926 г. Ряд наблюдений оказался довольно полным, они не охватили только некоторые периоды XVI и XVII вв. Судя по ним, скорость заиливания составляет в среднем 10—15 см за столетие.

Колупайла [23] обработал наблюдения над уровнями реки Неман у Смалининкай с 1812 по 1930 г. Подробные данные об измерениях уровня воды, проводившихся в XVIII и XIX вв., приведены в работах Колупайлы [23] и Девенпорта [24]. С начала XIX в. определения расхода воды начали вестись систематически. Среди них выделялись наблюдения: Г. К. Эшера фон дер Линта на Верхнем Рейне близ Базеля (с 1809 по 1821 г.), А. Ж. К. Дефонтэна на Рейне и его притоках (с 1820 по 1833 г.); Джузеппе Вентуроли на Тибре у Рима (с 1825 по 1836 г.); А. Г. А. Баумгартена на Гаронне (с 1837 по 1856 г.)*. Вероятно, величина расхода воды определялась с помощью существовавших в то время многочисленных формул, учитывавших скорость течения и уклон. Первые международные измерения расхода воды были произведены в ноябре 1867 г. на Рейне у Базеля.

В 1813 г. барон К. Р. Т. Крайенхоф опубликовал серию таблиц подробных гидрографических и топографических данных, относившихся к Голландии. Эта работа имеет большое значение, ибо в ней впервые были собраны подробные данные о расходах воды, полученные с учетом уклона поверхности воды, уровня воды и скорости течения. Скорость определялась по времени, за которое вертикальный поплавочный шест, выступавший над водой и почти достигавший дна, передвигался от одной створной линии до другой. Все отметки уровня воды были приведены к исходному уровню.

Вывод рациональной формулы

Вероятно, первую рациональную попытку оценить размеры паводочного стока предприняла группа ирландских инженеров в период с 1842 по 1847 г. [25]. Разработанная ими методика сводилась к проектированию осушительных канав с таким расчетом, чтобы они могли отводить определенный процент наблюдаемого максимального суточного количества осадков. Было принято допущение, что выпавшие атмосферные осадки распределяются на три части: одна часть испаряется, другая просачивается в почву, третья стекает, причем первые два процесса происходят с неизменной интенсивностью на протяжении всего года. Следовательно, поскольку определенная часть годовой суммы атмосферных осадков попадает в реки, то же должно происходить и с соответствующей частью суточного количества осадков.

По данным Дуджа [25], Сэмюэль Робертс в докладе о реке Ди¹, сделанном в декабре 1843 г., принял максимальное суточное количество осадков равным 1,6 дюйма, а коэффициент стока — 0,4. Впоследствии при гидрологических расчетах коэффициент стока принимался в зависимости от различных характеристик водосборной площади, особенно величины ее уклона. Так, Уильям Фрейзер в отчете о работах в Лонгфордском районе на реке Камлин², опубликованном в феврале 1844 г., принял два значения коэффициента стока для данной водосборной площади — 0,4 для южной части, где падение составляет около 5 фу-

¹ В восточной части Ирландии.— *Прим. ред.*

² В центральной части Ирландии.— *Прим. ред.*

тов на милю, и 0,6 для северной части, с падением от 10 до 20 футов на милю. Предполагалось, что при более крутом уклоне величина стока больше, ибо меньше времени уходит на просачивание и испарение. В общем, ирландцы пользовались коэффициентами 0,4 и 0,6 (или $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$) для ровной и наклонной местности соответственно. Вначале они принимали максимальными суточные осадки в 1,5 или 1,6 дюйма, но впоследствии эта величина постепенно возрастала. К 1847 г. формула приняла такой вид:

$$Q = 2,52C \cdot I \cdot A,$$

где Q — расчетный расход в куб. фут/мин, C — коэффициент стока, I — максимальное суточное количество атмосферных осадков (1,5—2 дюйма), A — водосборная площадь в акрах.

Основоположником так называемого рационального метода, применяемого ныне, был Томас Джеймс Мальвани (1822—1892), младший брат Управляющего осушительными работами в Ирландии Уильяма Т. Мальвани. Суть своего метода Джеймс Мальвани изложил в статье «Об использовании самописцев дождя и уровня при исследовании зависимости паводочных расходов от осадков на данном водосборе», представленной в феврале 1851 г. Институту гражданских инженеров Ирландии [26]. Указав на необходимость производства наблюдений над атмосферными осадками по единой методике с целью последующего их анализа для выведения практических правил расчета паводков и вкратце охарактеризовав изученность теоретической стороны вопроса, Мальвани пришел к выводу, что результаты, полученные эмпирическим путем, «довольно близки к истине», но пригодны только для средней по условиям рельефа водосборной площади, «не гористой, но и не слишком плоской» [26].

Высказывание Мальвани о методах определения максимальных расходов воды не утратило своего значения и по сей день:

«После того как он [инженер-гидролог] установит все эти факты и удостоверится, что каждый из них имеет большое влияние на формирование максимального расхода воды, который он призван предусмотреть, он, насколько мне известно, окажется без всякого руководства, которое помогло бы ему решить, в какой степени количественно выражается влияние каждого из этих факторов на величину расхода; по сути дела он в конце концов обречен *угадывать* результаты, и если у него в прошлом не было аналогичных случаев, его догадка может оказаться весьма далекой от истины» [26].

Ибо для формирования максимального расхода

«требуется сочетание различных условий, касающихся выпадения осадков и особенностей водосборной площади, и эти условия могут возникать не чаще, чем раз в два-три года, но он (гидролог) все же обязан их предусмотреть» [26].

Мальвани также отметил, что для определения зависимости между количеством и интенсивностью атмосферных осадков с одной стороны, и стоком — с другой, необходимо собирать данные об осадках и стоке за многолетний период.

Мальвани следует считать первым, кто правильно понял, какую важную роль в разработке рационального метода расчетов стока играет учет времени концентрации стока при выпадении осадков:

«Если мы имеем дело с небольшим или гористым водосбором, то чрезвычайно важно определить, за какой *промежуток времени* паводок достигнет наибольшей высоты при *равномерной* интенсивности выпадения осадков. Таким промежутком времени можно считать время, в течение которого осадки, выпадающие в самой отдаленной части бассейна, добегают до замыкающего створа, ибо мне представляется, что расход достигает наибольшей величины тогда, когда вода со всех частей водосборной площади одновременно поступает к замыкающему створу, при условии, повторяю, что интенсивность выпадения осадков остается постоянной. Определив это время, мы можем предположить, что расход воды достигнет *наибольшей возможной величины* (при данных условиях выпадения осадков) при максимальной интенсивности дождя за данное время... Этот фактор времени для любого водосбора зависит в основном от его размеров, формы и уклона. Поэтому чрезвычайно важной задачей исследования является установление зависимости между этими характеристиками и их воздействием на время добегания стока. Тогда, установив размеры, форму и средний уклон водосбора, мы сможем в первую очередь определить продолжительность непрерывного выпадения дождя, необходимого для образования максимального расхода, а следовательно, установить *наиболь-*

шую интенсивность выпадения осадков для данного случая».

По мнению Мальвани, коэффициент C можно вывести путем исследования водоудерживающих свойств почвы, зависящих в первую очередь от ее состава и степени ее обработки. Мальвани предложил также исследовать ряд специально подобранных небольших водосборов для изучения влияния различных факторов на паводочный сток. Таким образом, работа Мальвани явно подводит к рациональной формуле.

В другом месте своей работы ирландский инженер описывает автоматический дождемер (рис. 50), который должен обойтись в огромную сумму — 2 фунта: 1 фунт за самый инструмент и еще целый фунт за часовой механизм!

В мае 1851 г. Маннинг опубликовал статью о разветвленном дренаже [13], в которой указал, что дренажные работы могут сократить время подъема паводка до его пика и таким образом увеличить высоту пика. Максимальный расход, писал далее Маннинг, зависит от атмосферных осадков, размеров и других особенностей водосборной площади. Потерями на испарение и инфильтрацию он пренебрегал, ибо:

«Очевидно, что атмосфера может находиться в таком состоянии, что на протяжении всего паводка сколько-нибудь значительного испарения не будет происходить, а водоудерживающие возможности почво-грунтов в данной местности, каким бы ни было ее геологическое строение, могут быть полностью исчерпаны предыдущими дождями; поэтому величина максимального расхода должна зависеть в основном от количества выпадающих осадков и от протя-

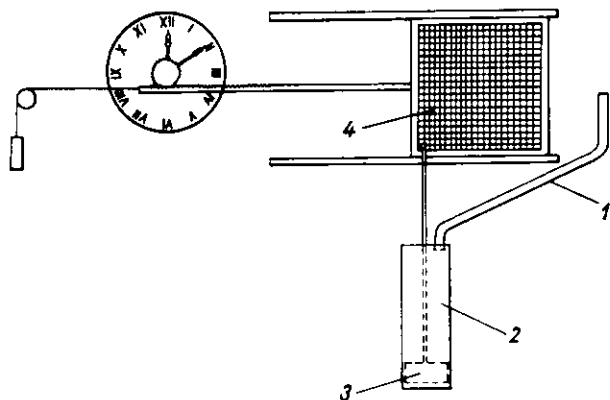


Рис. 50. Плювиограф Т. Мальвани: дождевая вода поступает из приемника по трубке (1) в резервуар (2), где находится поплавок (3), штифт которого чертит линию на плоском листе миллиметровки (4), приводимом в движение часовым механизмом посредством зубчатки.

женности и сравнительного превышения водосборной площади над руслом, по которому происходит сток».

Маннинг вычислил максимальные суточные количества осадков в пяти пунктах на основе данных наблюдений за 4—10 лет. Однако все максимумы были превышены уже в следующем 1852-м году. Рациональная формула впоследствии была предложена Эмилем Кёхлином в 1889 г. [27], Жоржем Шамье в 1898 г. [28] и Д. Э. Ллойд-Дэвисом в 1906 г. [29]. Сейчас она известна по имени впервые применивших ее на практике инженеров под названием формулы Кёхлина в США и формулы Ллойд-Дэвиса в Великобритании. Это довольно несправедливо, ибо по праву она должна была бы называться во всех странах формулой Мальвани.*

Гершель и водомер Вентури

Клеменс Гершель (1842—1930) родился, вероятно, в Австрии (местом его рождения называют и Вену, и Бостон), образование получил в Гарварде (США), Париже и Карлсруэ. В Лоуэлле, штат Массачусетс, он познакомился с Джеймсом Френсисом, который пробудил в нем интерес к гидравлике. Главные заслуги Гершеля перед гидрологией — изобретение водомера Вентури и работа по истории гидрологии. Следует напомнить, что именно Гершель сфотографировал рукопись Фронтинана в монастыре Монте-Кассино и нашел оригинал работы Шези, а также перевел обе эти рукописи на английский. Институт имени Франклина наградил его медалью Элиотта Крессона за работу 1898 г. о водомере Вентури. Кроме того, Гершель был избран президентом Американского и Бостонского обществ гражданских инженеров. Когда Гершель работал в Холиоке, штат Массачусетс, ему пришлось изыскивать наиболее экономичный метод учета воды, потребляемой местными энергетическими компаниями. Самым простым решением было бы сооружение водослива, но это было бы неэкономично. Гершель пишет:

«Еще один вид утечки воды из каналов, незаметной для человеческого глаза, вызывал у меня глубокое беспокойство. Промышленные компании, в том числе 25 крупных

бумажных фабрик, использовали большое количество воды для промывки бумажной массы; на это уходило около 10 процентов воды, используемой для производства энергии. Воду отводили по чугунным трубам, в основном диаметром 20—24 дюйма, окрашенным с внешней стороны в черный цвет. Обычно их прокладывали около заводов. Не раз я останавливался около такой трубы, молчаливой как могила, стараясь проникнуть в тайну того, что происходит внутри.

Это желание породило во мне решимость при первой же возможности испробовать, как будет работать прибор, имеющий следующее устройство. Расположим в некоторой точке трубы насадку круглой или какой-либо другой формы, затем вниз по течению от этой насадки поместим расширяющийся конус с тем, чтобы возместить потерю напора, вызванную сопротивлением насадки. При этом прибор в целом не вызовет уменьшения напора воды» [30].

Гершель отметил, что смог создать свой водомер в результате изучения анемометра Бурдона, экспериментов Вентури и турбинного диффузора Бойдена. Он назвал свое изобретение по имени итальянского ученого Вентури, ибо:

«Сделанное Вентури открытие всасывающего действия горловины заставило меня предположить, что его сила непосредственно связана со скоростью воды в этом месте».

Вскоре после того, как водомеры Вентури, подвергавшиеся сначала серьезной критике, получили широкое распространение для измерения расхода воды в трубах, по аналогичному принципу был создан гидрологический лоток Вентури для определения расхода воды в каналах и небольших водотоках.

Гидрология подземных вод

Уильям Смит. Английский геолог Уильям Смит одним из первых попытался разрешить проблемы гидрологии подземных вод, исходя из принципов геологии. Смит родился в 1769 г. в городе Черчилль в Оксфордшире. Его часто называют отцом английской геологии, что, впрочем, не совсем справедливо по отношению к его предшественникам. Сам он называл себя то геологом, то минералогом, то инженером-строителем и большую часть своего состояния потратил на издание геологических карт. В 1815 г. Смит купил в Англии около города Бат поместье с залежами строительного камня; однако он жестоко просчитал-

ся — камня оказалось меньше, чем он ожидал, да и качество его оставляло желать лучшего. Смит много потерял на этой сделке и был вынужден продать свою великолепную геологическую коллекцию Британскому музею. Умер Смит в Нортхэмптоне, в 1839 г.

Работы Смита по гидрологии касаются главным образом подземных вод. В докладе «О сохранении воды в горных породах для ее использования летом», представленном в 1827 г. Йоркширскому философскому обществу, он рассматривает возможности использования подземных вод для нужд города Скарборо. Сначала он говорит о необходимости и желательности сохранения воды; затем предлагает способ обеспечения города



Уильям Смит.

водой на все лето. Было обнаружено, что скважина, пробуренная несколько лет назад для осушения местности, выделяет небольшое количество воды. Тогда на ее месте был вырыт открытый канал, глубиной 9—10 футов, и расход воды увеличился примерно до 24 хогсхедов¹ в час. Это побудило Смита углубить канал еще на 4 фута, и в результате расход увеличился еще на 50—60 хогсхедов в час. Смит предположил, что вода поступает из ограниченного водоносного слоя, и порекомендовал сохранить при помощи запруды накапливающиеся весной избытки воды для дальнейшего их использования летом и зимой. Водоносная порода оказалась желтоватым рыхлым тонкозернистым песчанником, залегающим мощными пластами с открытыми трещинами.

Дарси и Дюпюи. Теоретические основы гидрологии подземных вод заложил А. Дарси в отчете о системе водоснабжения Дижона, опубликованном в 1856 г. [7]. В одном из приложений к отчету, посвященном методам очистки воды путем фильтрования сквозь песок, он предложил формулу, ныне получившую широкое распространение и носящую его имя:

$$Q = \frac{KA}{L} (H + L),$$

где L и A — длина и площадь поперечного сечения образца грунта, K — постоянная, а H — высота столба воды над образцом. Скорость V равнялась Q/A , но Дарси не вводит никакого специального понятия для скорости воды или пористости грунта.

Дарси подчеркнул, что предложенное им уравнение носит чисто эмпирический характер и основывается на тщательных наблюдениях в поле и в лаборатории. Больше всего его интересовал вопрос о возможности увеличения водоотдачи колодцев. За исключением опытов по фильтрации, Дарси не проводил дополнительных исследований по гидрологии подземных вод. Он категорически отрицал утверждение, будто дождевая вода не может проникать в почву более чем на несколько футов, и предложил рациональное объяснение сезонных колебаний дебита колодцев. Что касается артезианских колодцев, то Дарси считал, что напорный водоносный слой аналогичен большой трубе, которая соединяет два резервуара, находящихся на разных уровнях. Артезианские колодцы — это своего рода трубы, доставляющие воду с магистрального трубопровода, находящегося под давлением.

Работу Дарси о подземных водах продолжил другой французский исследователь, Дюпюи (1804—1866), имя которого

¹ Хогсхед — мера емкости, равная 240 л. — *Прим. перев.*

сейчас ассоциируется с уравнением для осесимметричного потока воды к колодцу, заложенному в водопроницаемой породе. В работе, вышедшей в 1863 г., он рассматривает эту проблему в главе, посвященной явлению фильтрации. Дюпюи знал работу Дарси по фильтрации и пытался разрешить проблему с помощью закона сопротивления, выведенного Кулоном (в том виде, который ему придал Прони) для определения расхода в открытом русле. Он исходил из предположения, что масса песка аналогична системе мельчайших русел и что поэтому к ней можно применить уравнение Прони. Кроме того, он предположил, что «русла» находятся в одних и тех же условиях, а следовательно, градиенты и скорости во всех «микроруслах» в вертикальном сечении одни и те же. Поскольку через проницаемый слой вода движется медленно, он пренебрег величиной v^2 и свел уравнение Прони к такому виду:

$$i = \eta v,$$

где η — коэффициент, зависящий от характера грунта [32]. Он указал на сходство между своим квазитеретическим уравнением и эмпирической формулой Дарси.

Далее Дюпюи вывел теоретическую формулу скорости притока воды к колодцу, рассмотрев поток через произвольную цилиндрическую поверхность, окружающую его:

$$q = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{\log R/r_0},$$

где q — расход воды в единицу времени, k — коэффициент фильтрации, H — высота столба воды над водонепроницаемым слоем за зоной влияния, h_0 — глубина воды в колодце, R — радиус зоны влияния, r_0 — радиус колодца.

Он вывел также два других подобных уравнения для расчета пополнения запаса подземных вод и для артезианских колодцев. В основе всех трех формул лежали два основных допущения:

1. Все точки поперечного сечения имеют один и тот же градиент.
2. Градиент в каждой точке зеркала грунтовых вод равен уклону поверхности в этой точке.

Эти два допущения явно создают серьезные ограничения для применения формул Дюпюи. Но, как ни странно, Дюпюи упорно не учитывал свои собственные теоретические положения в выведенных им же упрощенных формулах. В отличие от Дарси, он не проверял свои теоретические умозаключения при помощи серьезных исследований в лаборатории и в поле. Он также не пытался внести в свое уравнение поправки на ограниченное применение величины R . Если предположить, что при проницаемом слое величина R равна бесконечности, то это серьезно затрудняет практическое применение формул. Впоследствии Адольф Тим на основании произведенных им полевых экспериментов предложил разумную величину R .

Работы Дюпюи сильно продвинули исследования гидрологии подземных вод, несмотря на то что уравнение для колодцев содержало ошибочные допущения относительно зеркала грунтовых вод и распределения пьезометрического напора вдоль непроницаемого основания. Тем не менее это уравнение до сих пор применяется для определения расхода воды и коэффициента проницаемости, ибо расхождения между величинами истинными и величинами, полученными при помощи этой формулы, ничтожны.

Адольф Тим. Следом за французскими исследователями Дарси и Дюпюи к изучению подземных вод обратились немцы и австрийцы [33]. Наибольшие заслуги в этой области принадлежат Адольфу Тиму (1836—1908), главному инженеру-строителю города Дрездена. В работе, опубликованной в 1870 г. [34], он произвел теоретический анализ проблем, связанных с притоком воды к совершенным колодцам, артезианским скважинам и фильтрационным галереям. Приняв необходимые допущения, он вывел те же формулы, что и Дюпюи, для совершенных и артезианских скважин. Как и Дюпюи, он пренебрегал ограничениями, с которыми были сопряжены эти допущения. Возможно, оба исследователя считали эти два условия логическими выводами из формулы, а не упрощающими ее допущениями.

В этой же работе Тим рассматривает проблему несовершенных колодцев, но упрощает ее и приходит к выводу, что частичная проницаемость оказывает незначительное влияние на водоотдачу. В этой же работе он сделал попытку проанализировать явление неустановившегося просачивания, но, по его собственному признанию, полученные им результаты не могли иметь сколько-нибудь серьезного практического применения.

В последующих работах Тим подкрепил свои формулы данными большого числа полевых наблюдений. Он высказал предположение, что не следует считать бесконечным радиус

зоны влияния в проницаемом слое. Он, радиус, может быть ограничен точкой, в которой понижение уровня грунтовых вод настолько ничтожно, что им можно пренебречь без большого ущерба для точности. Сначала Тим пытался определить скорость движения грунтовых вод, запуская в них красящее вещество и фиксируя время появления красителя в наблюдательном колодце. Однако этот метод оказался довольно неточным, так как красители обладают свойством распространяться даже в стоячей воде. Поэтому Тим стал пользоваться соляным раствором [35, 36]. Он запускал раствор соли определенной концентрации в стоячую воду, а спустя некоторое время вычислял содержание соли в различных ее точках.

Составив по этим данным тарифовочную таблицу, он мог вводить необходимые поправки, определяя содержание соли в наблюдательном колодце на данном расстоянии от пункта запуска раствора и по истечении данного периода времени. Перу Тима принадлежит много работ по гидрологии подземных вод. Возможно, наибольшая его заслуга в том, что он уделял очень большое внимание методике проведения экспериментов и стремился согласовать теоретические данные с полевыми наблюдениями.

Форхгеймер и Слхтер

Среди тех, кто в конце XIX и первой половине XX вв. занимался гидрологией подземных вод, одним из крупнейших теоретиков, несомненно, был Филипп Форхгеймер (1852—1933). Родился он в Вене, был профессором гидравлики сначала в Аахене, а затем в Граце. Форхгеймер первым применил к исследованию грунтовых вод аппарат математического анализа. Одна из главных его работ — определение соотношения между эквипотенциальной поверхностью и линиями тока. В первом издании своей книги по гидравлике, опубликованном в 1914 г., Форхгеймер изложил аналитический метод, на котором основывается принцип гидродинамической сетки. Это, бесспорно, была не первая работа такого рода, ибо статья по этому вопросу еще в 1908 г. опубликовал в Англии совершенно независимо от Форхгеймера Л. Ф. Ричардсон [37], но из самой первой статьи Форхгеймера о подземных водах, напечатанной в 1886 г. [38],

ясно, что уже тогда у него зародилась мысль о применении этого метода.

После того как в 1882 г. Хольцмюллер применил метод конформного картирования для решения проблем теплового потока, Форхгеймер попытался аналогичным способом проанализировать движения подземных вод. Начав с закона Дарси и допущений Дюпюи, он пришел к уравнению Лапласа для зеркала подземных вод при безнапорном потоке в проницаемом слое, подстеленном горизонтальным водонепроницаемым слоем:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0,$$

где x и y — координаты искомой точки на горизонтальной плоскости, z — превышение зеркала подземных вод над горизонтальным водонепроницаемым слоем.

Он указал, что это уравнение пригодно для движения подземных вод на большой глубине. При меньшей глубине, где от одной точки до другой происходят большие изменения, уравнение принимает такой вид:

$$\frac{\partial^2 (z^2)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 (z^2)}{\partial y^2} = 0.$$

Форхгеймер не только первым указал на возможность применения уравнения Лапласа к движению подземных вод, но и предложил четкое теоретическое объяснение допущений Дюпюи.

Форхгеймер применил теорию функций сложной переменной для анализа безнапорного притока к группе колодцев. Он использовал понятие о воображаемом эквивалентном единичном колодце, имеющем такой же расход, как группа колодцев. Предложенное уравнение для установившегося течения предполагало, что у всех колодцев будет одинаковый дебит, причем на эквивалентный колодец накладывалось одно-единственное ограничение: он должен был занимать приблизительно центральное положение.

Форхгеймер также первым применил для изучения подземных вод метод зеркального отображения. Он проанализировал случай совершенного колодца, расположенного близ реки, при условии, что и колодец, и русло реки подстелены сплошным слоем непроницаемого грунта. Предполагалось, что зеркало подземных вод у колодца и поверхность воды в реке находятся на одном уровне. Для проведения анализа Форхгеймер заменил реку сплошным водонепроницаемым слоем с воображаемым поглощающим колодцем, расположенным зеркально к заданному

колодцу (по отношению к берегам реки). При этом воображаемый колодец был наделен способностью выделять в окружающий проницаемый слой столько же воды, сколько реально существующий колодец поглощает. Далее Форхгеймер включил в анализ естественное движение подземных вод к реке, снова применив метод зеркальных отображений, определил критическое расстояние между рекой и колодцем, за пределами которого вода из реки не будет поступать в колодец.

Во всех этих случаях Форхгеймер исходил из допущения, что колодцы достигают водонепроницаемого слоя, но он также анализировал полупогруженные колодцы. Подобный подход к решению этой задачи был полуэмпирическим, и полученное уравнение выглядело чрезвычайно громоздким [39].

У Форхгеймера была отличная математическая подготовка. Для разрешения проблем, связанных с подземными водами, он успешно применял, и почти во всех случаях первым, методы конформного картирования, зеркальных отображений, комплексных переменных и теории потенциала. Терцаги так оценил его вклад в гидрологию:

«По-моему, его работы больше содействовали созданию у нас правильных представлений о движении подземных вод, чем работы всех остальных современных гидрологов Европы вместе взятых».

Многие работы Форхгеймера были дублированы в Соединенных Штатах Чарльзом Самнером Сликтером (1864—1946). Сликтер был очень плохо осведомлен о работах в области гидрологии подземных вод, выполненных в Европе, и, наверно, даже не слышал имени Форхгеймера. Сликтер нашел аналитическое выражение для дебита артезианского колодца, которое оказалось сходным с решением Дюпюи — Тима. Как и Форхгеймер, Сликтер находился под влиянием работы Хольцмюллера, и успешно применил уравнение Лапласа к конформным преобразованиям и теории потенциала при изучении проблем грунтовых вод [40]. Сликтер предложил сложную формулу для расчета расхода воды, проходящей сквозь вертикальную почвенную колонку:

$$Q = 1,0094 \frac{\Delta p \cdot d^3 \cdot A}{\omega h k},$$

где Q — расход воды ($\text{см}^3/\text{сек}$), p — разность «давления» на концах колонки (см водяного столба), d — средний диаметр частиц почвы (см), A — площадь поперечного сечения (см^2), μ — коэффициент внутреннего трения воды ($\text{г}/\text{сек}/\text{см}^2$), k — коэффициент, зависящий от пористости и геометрических характеристик почвы.

Слихтер понимал, что эта формула выражает закон Дарси, но, в отличие от Дарси, пользовавшегося одним коэффициентом k , он разделил его на составные части. Из формы уравнения ясно, что Слихтер использовал для его получения уравнение Хагена — Пуазейля. Для измерения скорости движения подземных вод Слихтер применил в наблюдательных колодцах электрическую цепь с электродами и амперметром. Вводя электролит в подземный поток воды, он определял скорость просачивания воды между двумя точками по показаниям амперметра (которые зависели от концентрации электролита в воде). Хотя большая часть работ Слихтера была проделана еще до него в Европе, нельзя не признать его вклад в изучение гидрологии подземных вод. Он производил свои исследования независимо от европейских ученых и в значительной мере содействовал прогрессу этой отрасли гидрологии в Америке. Благодаря ему американцы пополнили свои познания о подземных водах.

Бердмор и его «Справочник по гидрологии»

«Справочник по гидрологии» Натаниэля Бердмора, вышедший в 1862 г., был первой книгой на английском языке, трактовавшей предмет гидрологии в его современном аспекте [41]. Это было расширенное и улучшенное издание более ранней работы Бердмора «Гидравлические таблицы», изданной в 1850 г. Бердмор, родившийся в 1816 г. в английском городе Ноттингеме, занимался проектированием и строительством железных дорог, портовых сооружений, мостов, дренажных и водопроводных систем. В 1861 г. он был избран председателем Королевского метеорологического общества и, находясь на этом посту, неоднократно консультировал проекты водоснабжения городов, весьма удаленных друг от друга, начиная от Эдинбурга и Глазго и кончая Москвой и Одессой. Умер Бердмор в 1872 г.

Бердмор в области гидрологии не выдвинул новых теорий; главная его заслуга в том, что он популяризировал уже существующие. И сделал он это при помощи своей книги — великолепной компиляции, где накопленные к тому времени сведения были представлены в виде таблиц. Бердмор писал:

«Сложные, но важные с практической точки зрения, вопросы, связанные с уклоном водной поверхности и скоростью течения, а главное, с количеством воды, образующимся при данной интенсивности и данном количестве выпадающих атмосферных осадков, почти не затрагивались в литературе (до выхода в свет первого издания этой работы); зависимость запасов воды от количества осадков изучалась лишь немногими инженерами-гидротехниками и строителями каналов; а они не стремились делиться практическим опытом, приобретенным за годы тяжелого труда.

Гидрологическая наука должна учитывать множество обстоятельств. Для нее имеют большое значение не только климат, высота местности, ее уклон и геологические особенности. Практика строительства, например, осушительных и водопроводных сооружений, требует большого опыта, опирающегося на науку» [44].

Книга, задуманная как практический справочник для повседневного пользования, была разделена на четыре части: гидравлические и другие таблицы, реки и сток, приливы, атмосферные осадки. Она содержала гидрологические данные, собранные во всех частях света и предназначавшиеся в первую очередь для английских инженеров-консультантов, которые во второй половине XIX в. занимались проектированием и осуществлением водохозяйственных проектов во всем мире.

Другие достижения

Во второй половине XIX в. Геологическая служба США, а также предшествовавшие ей организации начали систематически собирать и публиковать данные о средних суточных расходах репрезентативных рек по территории всей страны. Настоящим пионером гидрометрии был герой Гражданской войны Чарльз Эллетт-младший (1810—1862)*. Он, вероятно, первым составил таблицы ежедневных расходов воды на основании измерений скорости течения для реки Огайо близ Уиллинга в Западной Виргинии. Геологическая служба была основана в 1879 г., и, по словам Н. Г. Гровера, который с 1903 по 1933 г. был главным инженером-гидравликом Управления, уже в 1906 г.

«измерения расходов воды велись по всей стране; исследования подземных вод успешно производились и на востоке, и на западе страны; Джилберт начал свой монументальный труд о транспортирующей способности текущей воды; Сликтер приступил к измерениям скорости движения воды сквозь почво-грунты... Конгресс санкционировал подготовку докладов о наилучших методах использования водных ресурсов... начали публиковаться полные ежегодные наблюдения гидрометрических станций в одном выпуске; изучалась точность данных о стоке; Мерфи исследовал надежность гидрометрической вертушки; улучшилась методика наблюдений в зимний сезон... Вот перечень выдающихся успехов, достигнутых за сравнительно короткий период времени» [42].

Во второй половине XIX в. были предложены также различные простые формулы максимального расхода воды типа:

$$Q = C A^n,$$

где C — коэффициент, n — показатель (оба они зависят от характера местности), A — площадь водосбора в акрах. Вероятно, самую первую из подобных формул вывел на основании наблюдений в Индии полковник Ч. А. Диккенс [43]:

$$Q = C \cdot A^{0,75},$$

где C колеблется от 1,56 до 17,2.

Чоу сделал подробный обзор формул максимального стока, предложенных в период с 1860 по 1950 г. [44].

В 1883 г. Риппл предложил метод определения минимального эффективного запаса воды, необходимого для того, чтобы в данный период времени не ощущалось недостатка в воде [45]. Метод основывался на результирующей интегральной кривой и на предположении, что приток и отток воды — известные функции времени. При обсуждении работы указывалось, что предложенный Рипплом метод применялся на практике многими инженерами еще за несколько лет до опубликования его работы.

В первом ряду итальянских гидрологов этого периода находились Джузеппе Вентуроли (1768—1846), Джорджио Бидоне (1781—1839) и Элиа Ломбардини (1794—1878). Бидоне, вероятно, первым систематически проанализировал явление гидравлического прыжка, которое в Италии по сей день называют «прыжком Бидоне». Он исследовал расходы воды через водо-

сливы и опубликовал результаты изысканий в «Трудах Туринской академии наук» за 1820, 1826 и 1827 гг. Главный вклад Вентуроли — элементарное уравнение подпора в прямоугольных руслах, выведенное в 1823 г. Путем графического интегрирования дифференциального уравнения Вентуроли мог проектировать различные участки продольного профиля потока. Он также проанализировал многолетние данные о стоке реки Тибр.

Ломбардини, последний в этой группе по счету, но не по важности, написал ряд статей и трактатов о гидрологии реки По и о различных проектах регулирования паводков. Он указал, что вырубка лесов на склонах гор, по всей видимости, ведет к усилению паводков, ибо по открытому склону вода стекает быстрее. Он исследовал, применив статистические методы, средние месячные расходы некоторых итальянских рек.

В XIX в. было выведено уравнение Хагена — Пуазёйля для расхода воды в круглых трубках, которое в известной мере способствовало развитию гидрологии подземных вод. Это уравнение вывели на основании экспериментальных данных немецкий инженер-гидравлик Готхильф Генрих Людвиг Хаген (1797—1884) и парижский физиолог и физик Жан-Луи Пуазёйль (1799—1869). Как это ни странно, аналитическое решение было предложено примерно в то же время независимо от Хагена и Пуазёйля и друг от друга двумя физиками: Францем Ньюманом (1798—1895) из Кёнигсберга и Эдуардом Хагенбахом (1830—1910) из Базеля, но Хагенбах назвал прослеженный им закон сопротивления в ламинарном потоке именем Пуазёйля, и это название, хотя и оно не совсем правомерно, сохранилось до сих пор.

Два европейских метеоролога заслуживают особого упоминания за их деятельность по систематизации измерений количества осадков. Это Джордж Джеймс Саймонс (1838—1900) и Иоганн Георг Густав Гельман (1854—1939). Оба они усиленно занимались историей различных отраслей метеорологии. Саймонс потратил почти сорок лет жизни на анализ и систематизацию разнообразных методов наблюдений над атмосферными осадками во всей Англии, и только благодаря его усилиям в 1860—1861 гг. вышел первый том сводки «Осадки в Англии». С тех пор данные о годовых количествах атмосферных осадков публиковались в этой стране регулярно. В двадцатом томе «Осадков в Великобритании» за 1880 г. Саймонс писал:

«В исследовании атмосферных осадков точное определение их средних годовых количеств представляет наибольший интерес и имеет важнейшее практическое значение».

Саймонс понимал, что приблизительные измерения атмосферных осадков произвести сравнительно легко, но что с повышением требуемой точности трудности увеличиваются и получить и проверить абсолютные, а не условные количества осадков крайне сложно. Он считал, что если даже такой абсолютный метод измерения осадков будет найден, применять его по всей стране скорее всего практически будет невозможно.

Гидрометрическая вертушка получила распространение во второй половине XIX в. История ее происхождения нам неизвестна, но ее предшественниками можно считать анемометр, ветрянную мельницу, водяное колесо, судовой лаг, появившиеся задолго до вертушки. К концу XIX в. применялись вертушки, сконструированные Даниэлем Фаррандом Генри (1833—1907) [46], генералом Теодором Эллисом (1829—1883), Уильямом Гунном Прайсом (1853—1928) [47] и Клеменсом Гершелем. У первых приборов число оборотов регистрировалось механическим счетным устройством, поэтому для снятия показаний вертушку каждый раз приходилось поднимать из воды. Около 1860 г. Даниэль Фарранд Генри из Управления по исследованию озер США (Детройт, шт. Мичиган) изобрел электрическое приспособление для регистрации числа оборотов вертушки, находящейся в воде, чем сделал ее более удобной для пользования.

Для развития гидрологии в XIX в. много сделали также Жан Баттиста Беланже (1789—1847), Мари Франсуа Эжен Бельгран (1810—1878), Эммануил Жозеф Будэн (1820—1893), Жак-Антуан Шарль Бресс (1822—1883), Альфонс Фтели (1837—1903), Джон Флетчер Миллер, аббат Парамель (1790—1875), Жан-Клод-Барре де Сен-Венан (1797—1886), Фредерик Пайк Стирнс (1851—1919) и Юлиус Вайсбах (1806—1871).*

Заключение

Главное достижение гидрологии в XIX в. состояло в том, что в это время прочно утвердился принцип экспериментальных исследований, имевших целью разработку теоретических положений или выявление эмпирических связей. Необходимо сознаваться, что часто предлагаемые формулы, относящиеся к одному и тому же явлению, резко отличались одна от другой. Причиной этого было стремление делать общие выводы на основании

ограниченного числа экспериментов. Это особенно относится ко многим формулам расхода воды в открытых руслах.

В гидрологии XIX в. наметились существенные успехи в двух областях: в области наблюдений над речным стоком и в области изучения подземных вод. Усовершенствование гидрометрических вертушек произвело переворот в методах измерения расхода воды в реках, а появление автомобиля в значительной мере разрешило проблему передвижения, обычно связанную с измерениями такого рода. Со времени Леонардо да Винчи и до 70-х гг. XIX в. для определения скорости текучей воды гидрометрические вертушки с механическим счетчиком оборотов были крайне неудобны в обращении, поэтому неудивительно, что вертушкам стали отдавать предпочтение перед плавками лишь после изобретения электрического счетного устройства.

Геологической службе США принадлежит заслуга организации систематических гидрометрических наблюдений и публикации данных о стоке репрезентативных рек.* Это, по-видимому, лучший подарок, сделанный когда-либо инженерам.

Впервые в истории была сделана попытка определить с помощью теоретических выкладок размеры расчетных паводков на определенной водосборной площади. Это заслуга группы ирландских инженеров-строителей, особенно Мальвани.

В области гидрологии подземных вод геологию связал с гидрологией англичанин Уильям Смит, однако пальма первенства вскоре перешла к французским инженерам, проявившим очень большую активность в области гидрогеологии. Среди них наибольшей известностью пользуются Дарси и Дююи. Серьезной трудностью в этот период был ограниченный обмен информацией между исследователями. Это, в частности, явилось причиной того, что Тим дублировал работу Дююи, причем даже спустя продолжительное время. Найти этому объяснение нелегко — ведь сведения об исследованиях по методике измерения расхода воды быстро распространялись далеко за пределы национальных границ: С. Колупайла, например, перечисляет 39 рецензий на работу Гемфри и Аббота [10, 11], из них 18 на иностранных языках. Следовательно, в этот период измерения поверхностных вод придавалось большее научное и практическое значение, чем исследованиям в области гидрогеологии.

Жизнь человека во все времена была тесно связана с водой. Многоводные реки, приносящие живительную влагу с далеких гор в плодородные низины, способствовали возникновению древнейших очагов культуры в Месопотамии, Египте, Индии, Китае, на Армянском нагорье (государство Урарту), в Центральной и Южной Америке, с их внушительными гидротехническими сооружениями — ирригационными и судоходными каналами, дамбами, водохранилищами (некоторые из них, по данным археологов, были построены около 6000 лет тому назад). Для возведения этих сооружений гидротехникам древности несомненно надо было обладать какими-то, хотя бы самыми элементарными представлениями о режиме рек, с которыми они вели неравную борьбу, а для этой цели им надо было производить гидрологические наблюдения.

Поэтому гидрология может по праву считаться одной из древнейших наук в мире.

И вместе с тем она является одной из самых молодых научных дисциплин.

В то время, когда на территории современной Финляндии и нашей Карелии еще, возможно, кое-где таяли остатки льдов последнего периода оледенения, а река Нева еще не успела образоваться, в далеком Египте жрецы уже вели простейшие гидрологические наблюдения — отмечали на скалах в 400 км выше Асуана уровни воды во время разливов Нила.

Однако понадобилось несколько тысячелетий для того, чтобы гидрология выкристаллизовалась в самостоятельную научную дисциплину. Произошло это в начале XX в. В конце 19-го столетия гидро-

логия еще обычно рассматривалась как часть физической географии, иногда ее относили к гидротехнике или гидравлике. С основами гидрологии студенты знакомились из курсов климатологии, мелиорации, внутренних водных путей и т. п. И лишь в начале XX в. определилось содержание гидрологии как самостоятельной науки, в некоторых университетах и технических институтах Германии, Франции, России, США стали читаться специальные курсы гидрологии, появились первые учебные пособия по этой дисциплине¹.

Вот почему гидрологию можно считать одновременно и древней, и молодой наукой.

Важным рубежом в истории развития гидрологии стал конец 17-го столетия. В последней четверти этого столетия французские ученые Пьер Перро, Эдм Мариотт и англичанин Эдмунд Галлей на основании экспериментальных измерений и расчетов осадков, стока и испарения впервые установили количественные соотношения главных фаз круговорота воды, опровергнув господствовавшие в то время фантастические представления о происхождении рек, источников и подземных вод. Измерения, расчеты и эксперименты Перро, Мариотта и Галлея, выполненные 300 лет тому назад, несмотря на их приближенный характер и смелые допущения, заложили прочную основу для последующего плодотворного развития гидрологии. Недаром ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования,

¹ В США первый специальный курс гидрологии читал в Висконсинском университете Д. У. Мид, «старейшина» американских гидрологов (1862—1948), чьим именем названо одно из крупнейших водохранилищ США («Озеро Мид»), образованное на р. Колорадо известной плотиной Боулдер-Дам. Изданные Мидом в 1904 г. «Очерки гидрологии и применение ее законов к проблемам гидротехники» (D. W. Mead "Notes on Hydrology and the application of its laws to the problems of Hydraulic engineering". Chicago, Press of S. Smith. and Co., 1904, 202 pp.) явились первым учебным пособием по гидрологии в Америке. Через десять лет после появления книги Мида, в 1914 г., в России впервые начал читать курс гидрологии суши в Петербургском Политехническом институте проф. С. П. Максимов. Литографированные лекции этого курса были первым в России учебником гидрологии.

В настоящее время в СССР существуют два специальных Гидрометеорологических института (в Ленинграде и Одессе), выпускающих инженеров-гидрологов, и 6 гидрометеорологических техникумов, готовящих техников-гидрологов; кроме того, гидрологов готовят кафедры гидрологии, имеющие в 10 университетах.

науки и культуры) постановила отметить в 1974 г. на Международной гидрологической конференции в Париже трехсотлетие научной гидрологии, приурочив этот юбилей к трехсотлетней годовщине выхода в свет книги П. Перро «О происхождении источников» (Париж, 1674).

Таким образом, родиной научной гидрологии можно по справедливости считать Францию.

Французские ученые внесли крупнейший вклад в развитие науки о природных водах не только в XVII в., но и позднее, в частности в 19-м столетии, когда трудами Ф. Э. Бельграна, А. Шези, Ж. Сен-Венана, Л. Фарга и других были заложены основы некоторых новых направлений современной гидрологии.

XVII век ознаменовался в истории гидрологии еще и быстрым развитием гидрометрии — раздела гидрологии, занимающегося разработкой методов и приборов для наблюдений за режимом природных вод, в первую очередь за стоком рек. Основные достижения в данной области в этот период принадлежали итальянским ученым (об этом в книге Бисваса рассказано достаточно подробно).

По-видимому, и самый термин «гидрометрия» был создан итальянским гидравликом и гидротехником Д. Гульельмини в 1694 г., когда ему предложили занять основанную специально для него кафедру «по измерению текучих вод» в Болонском университете.

Если Францию следует считать родиной научной гидрологии, то Италию можно назвать колыбелью современной гидрометрии.

Знаменательно, что первая книга, носящая название «Гидрология», а может быть, и сам этот термин, тоже появилась в конце XVII в. В 1694 г. во Франкфурте-на-Майне, в Германии, вышла ставшая теперь большой библиографической редкостью книга немецкого ученого Эбергарда Мельхиора под несколько неожиданным названием «Гидрология в трех частях, то есть: краткая, но основательная беседа о воде, которую... вел Нептун со своей страдающей богиней источника Швальбах»¹. В книге описываются целебные минеральные источники Висбадена (Германия), в частности источник Швальбах, а также затрагивается вопрос о происхождении холодных и горячих источников и об их значении для здоровья человека.

В русской литературе термин «гидрология» появился, по всей вероятности, лишь во второй половине 18-го столетия.

¹ E. Melchior. Hydrologia, in tres partes divisa. Das ist: Ein kurtzes doch gründliches Wassergespräch welches Neptunus mit seiner betrübten Schwald-Wasser-Göttin... gehalten. Frankfurt am Mayn, J. D. Zunnern, 1694, 276 pp.

В статье П. Варгентина «О натуральной истории вообще», напечатанной в марте 1762 г. в «Сочинениях и переводах, к пользе и увеселению служащих», читаем: «...под каким бы названием не рассуждать о воде, однако знание оной, то есть гидрология, есть полезная и нужная часть натуральной истории...» (цитируется по книге И. А. Федосеева «Развитие гидрологии суши в России», стр. 3).

Таким образом, можно сказать, что гидрология суши в процессе своего исторического развития пережила как бы три рождения — на заре истории, затем в XVII в., и, наконец, в начале 20-го столетия.

Мировая литература по истории гидрологии крайне скудна. Наиболее полно освещена история русской и советской гидрологии в обстоятельных трудах И. А. Федосеева [5], Б. Д. Зайкова [2], А. А. Соколова и А. И. Чеботарева [4], а также в статьях, опубликованных в периодических гидрологических изданиях В. Т. Глушковым, В. М. Родевичем, Л. С. Бергом, Д. Л. Соколовским, М. Ф. Срибным, Г. И. Швецом, М. И. Львовичем и др.

По истории зарубежной гидрологии таких обобщающих исследований не существует, книга канадского гидролога А. Бисваса, автора ряда статей по истории преимущественно раннего периода гидрологии, является, насколько нам известно, первым опытом в этой области. В оригинале она называется «История гидрологии». Это многообещающее название несколько обманчиво, оно значительно шире содержания книги, доведенной лишь до 19-го столетия. Таким образом, автор освещает в основном лишь «предысторию» и ранний период гидрологии, причем он не затрагивает многих существенных направлений и важных проблем, впервые возникших в гидрологии в 19-м столетии. Наиболее подробно в книге Бисваса изложены гидрологические идеи и воззрения, господствовавшие в эллинский и римский периоды. Ранние этапы развития научной гидрологии в 17—18-м столетиях описаны с заметным уклоном в сторону гидравлики и измерительной техники (гидрометрии). Этим же грешит и единственная, к сожалению, глава, посвященная 19-му столетию, в которой, как уже было отмечено, недостаточно полно отражен ряд крупных разделов гидрологии и гидрологических проблем, впервые появившихся в этом столетии. К их числу относятся учение о реках и речном стоке, русловые процессы, гидрология озер, гидрологические прогнозы и др. Существенным

пробелом всей книги Бисваса в целом является отсутствие сведений о развитии гидрологических знаний в России. Ниже мы попытаемся охарактеризовать в самых общих чертах состояние некоторых основных проблем гидрологии в 19-м столетии (т. е. не выходя за исторические рамки книги А. Бисваса), слабо освещенных автором, а пока лишь отметим, что особенно винить автора в допущенных им пробелах нельзя. В сравнительно небольшой по объему книге невозможно одинаково подробно осветить все этапы и проблемы гидрологии вплоть до конца 19-го столетия. Однако книга Бисваса имеет одно несомненное достоинство: она содержит так много нового и интересного материала, притом изложенного живо и занимательно, что несомненно будет прочитана с интересом не только гидрологами, которым она непосредственно адресована («...нельзя по-настоящему овладеть какой-либо научной дисциплиной, не зная истории ее развития...»), но и метеорологами, географами, историками и всеми читателями, ценящими хорошие научно-популярные книги.

Большинство научных выводов современной гидрологии основано на многолетних наблюдениях широко разветвленной сети гидрологических станций и постов. Эти наблюдения являются фундаментом, на котором базируются инженерно-гидрологические расчеты и прогнозы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений. Наряду с метеорологическими станциями, гидрологические станции и посты можно теперь встретить во всех самых отдаленных и «экзотических» районах земного шара, их общее число в настоящее время достигает во всем мире многих десятков тысяч. Подобно тому, как климатология и метеорология, в частности синоптика, получили возможность развиваться лишь после накопления материалов наблюдений метеорологических станций, так и основные закономерности гидрологических явлений и процессов могли быть установлены лишь после организации планомерных и регулярных стационарных наблюдений за режимом рек, озер и других водных объектов — в первую очередь за уровнем воды, расходом воды в реках, наносами, температурой воды, ледовыми явлениями, химическим составом воды и т. д.

Не случайно, что зарождение гидрологической науки связано именно с наблюдениями за уровнем воды на одной из крупнейших рек мира — Ниле, на которой сохранились и первые дошедшие до нас гидрометрические сооружения — водомерные посты, «ниломеры». В Древнем Египте их было около 30 — целая гидрометрическая сеть [7, стр. 2]. Любопытно, что название «ниломеры» в некоторых странах применялось и к современным

водомерным устройствам, ничего общего с Нилом не имеющим. Так, в США в конце 19-го столетия «ниломерами» (nilometers) назывались приборы для автоматической записи уровня воды (самописцы уровня, которые позднее стали именовать лимниграфами), причем иногда в их названиях встречались несколько необычные словосочетания, например «ниломер типа Вайоминг».

Во Франции в 18-м столетии водомерные рейки тоже именовали ниломерами [1].

Первые водомерные посты в Европе, на которых производились регулярные наблюдения за уровнем воды и по которым частично сохранились данные наблюдений, относятся к 18-му столетию.

В России первый водомерный пост был устроен по приказу Петра I, на Неве у Петропавловской крепости в 1715 г. Организатор первых специальных гидрографических обследований рек, составитель первого закона об охране вод (о водоохраных лесных полосах), Петр был начинателем в области изучения и использования вод России, так же как он был начинателем и в большинстве других государственных мероприятий.

Через несколько лет после открытия поста на Неве появились посты на Ладожском озере, Валдайских озерах, на уральских заводских прудах. Во второй половине 18-го столетия были устроены Адмиралтейств-коллегией водомерные посты на Северной Двине у Архангельска (1752 г.), на Волге у Астрахани (1792 г.) и др. К этому же времени относится и появление водомерных постов на некоторых крупных реках Западной Европы — на Рейне, Дунае, Эльбе (у Магдебурга с 1727 г.), Сене (у Парижа с 1732 г.), Тибре (у Рипетто с 1782 г.). Однако эти единичные посты, на которых наблюдения велись только за колебаниями уровня воды, иногда и за ледовыми явлениями, нельзя еще рассматривать как ячейки созданной по определенному плану и с определенными задачами государственной гидрологической сети. Такие сети гидрологических станций и постов появились только во второй половине 19-го столетия, в связи с организацией в ряде стран первых специальных учреждений по изучению гидрографии рек и их гидрологического режима. Как правило, эти учреждения создавались после больших наводнений, причинявших огромные убытки (наводнения в бассейнах

Сены, Луары, Роны во Франции в 1830—1840-х годах, на реках Рейне, Одере, Эльбе в Германии в период 1870—1890 гг. и т. д.) Главной их задачей было изучение причин образования катастрофических паводков, вызывавших наводнения, и разработки мер борьбы с ними. Старейшими организациями такого рода явились созданные во Франции в 1853—1854 гг. Гидрометрические службы бассейнов рек Луары и Сены.

Деятельность этих служб, а также организованных позднее аналогичных служб в других речных бассейнах Франции (Гаронны, Роны, Маас [Мез] и др.) была направлена преимущественно на изучение паводков с целью разработки методов их прогноза, вследствие чего эти службы получили впоследствии название Службы гидрометрических исследований и оповещения о паводках.

Несколько другой характер носили гидрологические учреждения, основанные в конце 19-го столетия в ряде небольших государств (нынешних «земель»), входивших в состав тогдашней Германии. Прототипом их явилось созданное в 1883 г. в герцогстве Баденском (расположенном на юге Германии вдоль правобережья Рейна) Центральное метеорологическое и гидрографическое бюро. Отличительная его особенность состояла в том, что оно руководило сетью как гидрологических станций, так и метеорологических, и его деятельность объединяла чисто гидрологические исследования (изучение паводков Рейна, составление гидрографических очерков по отдельным рекам и т. п.) с исследованиями метеорологическими.

Очень схожими по своей деятельности с Баденским бюро были гидрологические и гидрографические учреждения других государств, входивших в состав Германии, например основанное в 1892 г. Прусское управление по изучению вод, Баварское (1898 г.) и др. Все эти местные гидрологические учреждения были объединены в единое Управление по изучению вод Германии лишь в 1936 г. В Австрии централизованная Гидрографическая служба действует с 1895 г. (в Венгрии она была организована раньше, в 1886 г., и может считаться третьей по старшинству в Европе, после Французской и Баденской), в Швейцарии — с 1891 г.

В Италии и скандинавских странах центральные гидрологические учреждения появились в первом десятилетии 20-го столетия, а в Англии — позднее всего, лишь в 1930 г. В США производство всесторонних исследований вод, как поверхностных, так и подземных, было поручено созданной в 1876 г. Геологической службе (U. S. Geological Survey). В 1889 г. в ее составе был учрежден Отдел водных ресурсов, с обширной сетью гидрометрических станций и постов, организатором и первым руко-

водителем которого стал молодой энергичный инженер Ф. Ньюэлл; ему принадлежит приоритет в составлении первой карты речного стока (для территории США).

В России гидрологические учреждения, осуществляющие методическое руководство гидрологическими исследованиями и работой сети гидрологических станций, появились только после Великой Октябрьской социалистической революции (Российский, ныне Государственный гидрологический институт с 1919 г., Гидрометеорологический Комитет, ныне Главное Управление гидрометеорологической службы СССР с 1929 г.), хотя прогрессивные русские инженерные круги ясно сознавали необходимость централизации гидрологических исследований и вопрос об учреждении «Центральной гидрографической службы» был поднят уже в 1896 г. на III съезде русских деятелей по водным путям инженером Л. И. Квицинским.

В 19-м столетии гидрографические и гидрологические исследования в России велись в основном министерством путей сообщения — преимущественно на крупных судоходных реках и министерством земледелия — на малых реках, в связи с работами по орошению и осушению. Гидрологическая сеть в ее современном понимании была создана в основном в 70-х гг. прошлого века в связи с организацией Навигационно-описной комиссии министерства путей сообщения (речь о ней пойдет ниже), хотя еще в 1818 г. Управлением водяными и сухопутными сообщениями было издано предписание об обязательных ежедневных измерениях уровня воды на всех водных системах. За последнюю четверть 19-го столетия число водомерных постов возросло со 132 в 1876 г. до 554 в 1900 г., т. е. увеличилось более чем в 4 раза. В этот период крупные реки использовались почти исключительно для судоходства, применительно к его задачам и была составлена программа наблюдений на гидрологической сети. Она сводилась в основном к наблюдениям за уровнем воды и вскрытием и замерзанием рек. Все же на небольшом числе пунктов наблюдений Навигационно-описной комиссии были начаты измерения расходов воды (таких пунктов, названных гидрометрическими станциями, было всего около 20, они были открыты на Волге, Северной Двине, Днепре). Эти чрезвычайно важные для познания рек измерения получили широкое развитие лишь в текущем столетии, главным обра-

зом в связи с возросшим использованием рек для орошения и энергетических целей.

В настоящее время общее число пунктов гидрологических наблюдений в СССР приближается к 35 000, включая более 6240 пунктов государственной опорной гидрологической сети; примерно на 5000 пунктах опорной сети производятся систематические измерения расходов воды и учет стока.

Результаты наблюдений гидрологических станций и постов публикуются теперь ежегодно почти во всех странах мира в виде официальных изданий — гидрологических ежегодников. Эти издания содержат систематизированные данные по режиму рек и озер — по уровням и расходам воды, ледовым явлениям, наносам и т. д.

Издание ежегодников было начато в Австрии в 1893 г., в Венгрии — в 1896 г., в Баварии — в 1898 г., в США — в 1906 г. и т. д. В России первый том «Сведений о стояниях уровня воды на реках и озерах Европейской России по наблюдениям на 80 водомерных постах» был опубликован в 1881 г. Навигационно-описной комиссией министерства путей сообщения.

Гидрологические ежегодники, в которых собран к настоящему времени колоссальный цифровой материал — данные наблюдений за десятки лет по многим тысячам гидрологических станций — представляют собой воистину золотой фонд гидрологической информации, широко используемый гидрологами и гидротехниками во всех странах мира для гидрологических исследований, для расчетов при проектировании крупнейших гидротехнических сооружений и для прогнозов гидрологического и ледового режима рек, озер и водохранилищ.

Большинство научных дисциплин в процессе своего развития проходят последовательно следующие основные этапы: описание изучаемых явлений и процессов — объяснение — предвидение. Научный прогноз, основанный на тщательном изучении причинно-следственных связей, является обычно высшим этапом, за вершающим становление данной научной дисциплины.

Примерно по такому же пути шло и развитие науки о природных водах, гидрологии, входящей, наряду с геологией и метеорологией, в комплекс наук о Земле.

Первые данные описательного характера, касающиеся рек и озер, встречаются у географов и историков древности, предпринимавших дальние путешествия в таинственные страны, примыкавшие к тогдашнему «обитаемому миру» — ойкумене.

Так, крупнейший греческий ученый, географ и историк Геродот, посетивший в середине V в. до н. э. северное побережье

Черного моря (Скифию), упоминает о крупных реках Истре (Дунае), Тирасе (Днестре), Борисфене (Днепре), Танаисе (Доне).

Греческий географ Страбон (ок. 60 г. до н. э., — ок. 20 г. н. э.), описывая Закавказье, приводит сведения о реках Фазисе (Риони), Куре, Арагви, Алазани. Величайший географ древности греческий ученый Клавдий Птолемей (II в. н. э.) сообщает довольно точные гидрографические данные о Волге, которую он называет Ра; он пишет, что Ра образуется слиянием двух рек: одна из них берет начало в горах Гиперборейских (Северный Урал) — это, очевидно, Кама, а другая течет с запада, с гор Будинских (Валдайская возвышенность). Птолемей указывает также, что Волга в нижнем течении близко подходит к Дону и впадает в замкнутое Каспийское море.

Любопытно, что Птолемей был до некоторой степени прав, считая, что Волга образуется слиянием двух больших рек: водность Волги и Камы (собирающей свои воды в основном с западного склона Урала) в месте их слияния почти одинакова. Таким образом, Каму можно считать с некоторым основанием не просто притоком Волги, а одной из двух составляющих Нижней Волги.

Сбор общих описательных сведений о реках и озерах в труднодоступных районах земного шара продолжали попутно со сбором других сведений географического характера первые землепроходцы, затем путешественники-одиночки и специально снаряженные географические экспедиции во все времена, вплоть до XX в. Однако история накопления общих гидрографических сведений о водах суши относится больше к истории географических открытий, чем к истории гидрологии, поэтому мы ее касаться не будем и перейдем к краткой характеристике некоторых специальных гидрографических исследований рек, во время которых, наряду с общими сведениями по гидрографии, были получены и первые данные по гидрологии водных объектов, по их гидрологическому режиму.

Следует подчеркнуть, что впервые исследования подобного рода в широком масштабе были проведены в России, в эпоху преобразований Петра I, который правильно оценил огромное значение речных водных путей в условиях ужасающего бездорожья, царившего на бескрайних пространствах нашей страны.

Петр предпринял крупные работы по улучшению судоходных условий рек и строительству судоходных каналов, в том

числе таких, которые соединяют реки, принадлежащие к различным речным бассейнам. С этой целью были произведены гидрографические описания рек Дона, Западной Двины, Невы, обследовано большое число волоков. В эпоху Петра была создана Вышневолоцкая водная система, соединившая реки Балтийского и Каспийского бассейнов. сооружен шлюзованный канал между верховьями Оки и Дона, предпринята попытка (впрочем, безуспешная) строительства Волго-Донского канала, во время которой был впервые измерен расход воды Волги.

После смерти Петра гидрографические работы и гидротехническое строительство на реках продолжались с еще большим размахом в течение всего XVIII в. Не ослабевали они и в XIX в. Как бы вершиной и завершением гидрографических исследований рек России явилась деятельность Навигационно-описной комиссии министерства путей сообщения, созданной в 1875 г. и в 1884 г. слившейся с Департаментом водяных и шоссейных сообщений того же министерства. В состав комиссии и ее изыскательских партий вошли крупнейшие специалисты по речным исследованиям, такие как П. А. Фадеев, Н. А. Богуславский, Н. С. Лелявский, В. М. Лохтин, П. И. Максимович и многие другие. С 1875 по 1900 г. были проведены детальные исследования ряда крупных судоходных рек, в том числе Волги, Днепра, Северной Двины, Оби, Иртыша, Амура. Одновременно с проведением гидрографических исследований Навигационно-описная комиссия открывала на судоходных реках водомерные посты и гидрометрические станции, тем самым было положено начало созданию постоянной сети гидрологических наблюдательных пунктов и систематическому стационарному изучению гидрологического режима рек. Богатейшие материалы, собранные изыскательскими партиями, были опубликованы в виде карт, атласов, монографий, очерков по отдельным рекам; эти издания частично не утратили своего значения и до настоящего времени. В результате деятельности комиссии был накоплен огромный опыт производства гидрографических и гидрометрических работ, разработана и усовершенствована их методика, составлен ряд инструкций по производству этих работ.

Гидрографические исследования, проведенные в период деятельности Навигационно-описной комиссии и сменивших ее организаций министерства путей сообщения, стали подлинной школой русских гидрологов и гидротехников.

В силу многих исторических обстоятельств и географических условий трудно найти за рубежом аналоги этих исследований, осуществленных русскими инженерами в конце XIX в. Некоторое сходство с ними по содержанию, но не по масштабам, имеют гидрографические и гидрологические исследования ряда круп-

ных рек Германии, проведенные в этот же период в целях изучения паводков, вызываемых ими наводнений, их причин и мер борьбы с ними. Среди них следует отметить исследования рек Одера, Эльбы, Везера и Эмса, выполненные Прусским управлением по изучению вод под руководством Г. Келлера, а также исследование Рейна и его главных притоков, произведенные Баденским Центральным метеорологическим и гидрографическим бюро под руководством Гонзелля и Тейна. Результаты этих работ были опубликованы в виде капитальных монографий по перечисленным выше рекам.

В США интенсивные гидрографические исследования рек проводились в первой половине XIX в. в восточной части страны в связи со строительством судоходных каналов. Наиболее значительным из них был канал Эри (сооружен в 1817—1825 гг.), соединивший систему Великих озер с р. Гудзон. С тех пор он подвергался многократным реконструкциям, однако продолжает работать и поныне. К этому же периоду относится и изучение рек Огайо и Миссисипи с точки зрения их судоходных условий.

По мере проникновения американской колонизации на запад постепенно охватывались гидрографическими обследованиями и реки западнее Миссисипи. В 50-х гг. прошлого века была снаряжена экспедиция для обследования р. Колорадо (предназначенное для нее небольшое паровое судно было отправлено в разобранном виде из Бостона морем до Панамского перешейка, перевезено по суше через перешеек и затем доставлено на корабле в устье р. Колорадо в вершине Калифорнийского залива). Особенно прославился своими экспедициями по изучению знаменитых каньонов р. Колорадо исследователь Дальнего Запада Дж. Поуэлл. С небольшой группой смельчаков он прошел на лодках 1000-километровый участок р. Колорадо, на котором она течет, образуя многочисленные пороги, среди отвесных склонов высотой местами почти 2 км.

К этому же периоду (1850—1860 гг.) относятся и работы по детальной топографической и гидрографической съемке огромной территории дельты р. Миссисипи, во время которой А. Гемфрисом и Х. Абботом были произведены ценные гидрологические исследования (А. Бисвас пишет о них в последней главе своей книги).

Позднее, в 70—80-х гг. XIX в., гидрографическими и гидро-

метрическими исследованиями были охвачены и реки Калифорнии (Сакраменто, Сан-Хоакин и др.). После золотой лихорадки 1849 г. в долинах этих рек население быстро увеличивалось, и получение воды для орошения сельскохозяйственных культур стало острой проблемой.

Приведем в заключение даты гидрографических обследований устьевых участков еще трех крупных рек мира (выполненных соответственно Дж. Реви, Р. Гордоном и Ф. Ньюэллом), во время которых были впервые измерены расходы воды этих рек:

1874 г. — р. Парана (Южная Америка),

1875 г. — р. Иравади (Юго-Восточная Азия),

1889 г. — р. Рио-Гранде (США и Мексика).

Любопытно, что расход Амазонки, величайшей реки мира, сток которой составляет около 15% стока в океан всех рек земного шара, был (главным образом из-за технических трудностей) впервые точно измерен лишь в 1963 г. — через 463 года после ее открытия Винсенте Пинсоном.

Во второй половине XIX в. во многих странах мира был уже накоплен довольно значительный объем гидрографических сведений о реках и собраны некоторые данные о речном стоке в различных районах земного шара. Это дало возможность перейти от описаний гидрологических явлений и процессов к их изучению и объяснению, приступить к научным обобщениям, в первую очередь к разработке учения о речном стоке и водном балансе речных бассейнов, а также к изучению круговорота воды на земном шаре, что можно считать одним из главных достижений гидрологии в XIX в. (начало этому направлению в гидрологии суши было положено еще в конце XVII в. Перро и Мариоттом, о которых говорится в главе 10). Впоследствии, уже во второй половине 20-го столетия, исследования водного баланса приобрели исключительно важное практическое значение для рационального ведения водного хозяйства в условиях все возрастающего недостатка пресной воды во многих районах земного шара. Воднобалансовые исследования были поставлены во главу угла программы работ по Международному гидрологическому десятилетию, проводившемуся по решению ЮНЕСКО в 1965—1974 гг. в большинстве стран мира.

В историю зарубежной и отечественной гидрологии вошли исследования зависимости стока от осадков и других физико-географических факторов, выполненные в XIX в. для следующих речных бассейнов: Сены до Парижа (Ф. Араго, 1834), Миссисипи (А. Гемфрис и Х. Аббот, 1861), всего бассейна Сены (Ф. Э. Бельгран, 1872), Дуная (А. Пенк, 1890), верхней Волги

(М. А. Рыкачев, 1895), Одер (Г. Келлер, 1896), Днепра (Н. И. Максимович, 1902), Оки (Е. А. Гейнц, 1903), верхнего Днепра (Е. В. Оппоков, 1904).

Большое значение для всего дальнейшего развития гидрологии в нашей стране имели исследования по гидрологии рек выдающегося русского климатолога и географа А. И. Воейкова (1842—1916). В опубликованном им в 1884 г. классическом труде «Климаты земного шара, в особенности России» и в статье «Реки России», появившейся в том же году, Воейков высказал и развил много глубоких и оригинальных мыслей о круговороте воды и водном балансе суши. Анализируя соотношение между осадками и испарением (зависящим в основном от температуры воздуха) в различных географических районах, Воейков пришел к выводу, что именно это соотношение определяет режим рек и озер в данном районе и даже густоту речной сети. Это основное положение гидрологии Воейков сформулировал в «Климатах земного шара» в следующих словах: «При прочих равных условиях, страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее осадки и чем менее испарение как с поверхности почвы и вод, так и растений. Таким образом, реки можно рассматривать как продукт климата».

Это положение Воейкова можно выразить в виде следующего уравнения водного баланса речного бассейна: речной сток равен осадкам минус испарение с поверхности речного бассейна.

Уравнение водного баланса в таком виде было предложено только через 12 лет после Воейкова немецким географом и геоморфологом А. Пенком, опубликовавшим в 1896 г. работу под названием «Исследование испарения и стока с больших площадей суши»¹, в которой он высказал положение, что «карта атмосферных осадков в бассейне реки есть в то же время и карта речного стока в нем».

Уравнение водного баланса Пенка имеет вид

$$x = z + y,$$

где x — атмосферные осадки, z — испарение с речного бассейна, y — речной сток.

Уравнение в таком виде действительно только для многолет-

¹ A. Penck, Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abhandlungen, Wien, 1896, Bd. 5, N 5.

него периода (для средних многолетних величин осадков, испарения и стока). Для сравнительно коротких годовых рядов, для отдельных лет и для более коротких периодов времени уравнение это может оказаться неточным вследствие накопления влаги (от выпавших осадков) в грунтах бассейна в одни (влажные) годы и расходования влаги в другие (засушливые) годы. В среднем за многолетний период накопление и расходование влаги взаимно уравновешиваются. Поэтому Е. В. Оппоков (впоследствии академик АН УССР), которого Воейков назвал «одним из самых выдающихся гидрологов России», предложил ввести в уравнение Пенка дополнительный член $\pm u$, учитывающий расходование влаги из грунта в засушливые годы и накопление запасов влаги в более дождливые годы:

$$y = x - z \pm u.$$

Уравнение это вошло в гидрологическую литературу под названием уравнения Пенка — Оппокова.

Во второй половине XIX в. некоторые ученые (Э. Х. Ленц, А. И. Воейков в России, Е. Лумис в США, Дж. Мёррей в Англии, А. Зупан в Германии и др.) предпринимают попытки определения двух основных составляющих баланса круговорота воды — осадков и речного стока в океан — для всего земного шара в целом. Вследствие скудности имевшихся к этому времени фактических данных об осадках и стоке, что было связано со слабым развитием мировой сети метеорологических и гидрологических станций, определения эти могли дать лишь порядок величин указанных элементов мирового водного баланса.

Например, Джонстон и Меткалф, каждый в отдельности, произвели (ранее 1868 г.) подсчет среднего суммарного стока рек земного шара в океан. Оба они основывались в своих подсчетах только на количестве осадков, выпадающих на суше. Меткалф получил сток, равный 135 млрд. м³ в сутки, или 49 000 км³ в год, а Джонстон — 175 млрд. м³ в сутки, или 64 000 км³ в год. Известный французский географ (и участник Парижской Коммуны, член I Интернационала) Э. Реклю, изложивший результаты подсчетов Меткалфа и Джонстона в своем труде: «Земля, описание явлений жизни земного шара, ч. 1. Континенты»¹, нашел их преувеличенными и произвел пересчет, взяв за основу не величину осадков, а фактические данные о расходах воды 11 рек земного шара — Дуная, Рейна, Роны и По в Европе, Нила в Африке, Шатт-эль-Араба, Инда, Ганга

¹ E. Reclus. La terre. Description des phénomènes de la vie du globe. 1. Les continents. Paris, ed. Hachette, 1868, p. 534—537.

и Хуанхэ в Азии, Миссисипи и Аtrato — в Америке. Реклю считал, что общая площадь бассейнов этих рек составляет 11 млн. км², или около $\frac{1}{10}$ всей площади суши (на самом деле площадь этих бассейнов, по современным данным, равна примерно 10 млн. км², или около $\frac{1}{13}$ площади суши, не считая Антарктиды). Общий расход перечисленных рек Реклю определил равным 55 000 м³/сек (по современным данным, он составляет около 50 000 м³/сек). Далее Реклю принял сток с остальной части суши, т. е. с $\frac{9}{10}$ ее площади, пропорционально равным этой площади, и получил суммарный сток в океан, равный 650 000 м³/сек (правильнее с точки зрения арифметики было бы принять цифру 550 000 м³/сек, так как $55\,000 \times 10$ составляет 550 000, а не 650 000). Однако учитывая, что «некоторые тропические реки отличаются огромной водоносностью, в особенности Амазонка, средний расход которой, вероятно, составляет 80—100 тыс. м³/сек» (в действительности он приблизительно в два раза больше), Реклю увеличил полученную им цифру суммарного стока на $\frac{1}{3}$ и принял окончательную величину общего притока речных вод в океан равной 1 000 000 м³/сек, или 31 500 км³ в год. По последним исследованиям Государственного гидрологического института¹, суммарный сток рек в океан равен 42 400 км³ в год (без учета поступления воды за счет льдов, выносимых в океан из ледникового покрова Антарктиды, а также без учета подземного стока воды с суши в океан).

Таким образом, сравнение принятой Э. Реклю величины суммарного речного стока в океан с современными данными показывает, что Реклю, несмотря на крайнюю скудность имевшихся в его распоряжении исходных данных, все же сумел с помощью элементарного гидрологического анализа получить довольно точные результаты: расхождение его данных с современными не превышает 25%.

Реклю подчеркивал в своем труде, что выполненные им расчеты — «предварительные» и что полученные им результаты будут постепенно уточняться по мере накопления данных по стоку рек земного шара. В этом он был совершенно прав, и он сам возвращался к своим расчетам несколько раз.

¹ Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., Гидрометеоздат, 1974, 638 с.

Разработка методов прогноза элементов гидрологического режима рек, являющаяся в настоящее время одним из наиболее важных разделов прикладной гидрологии, началась в 50-х гг. прошлого века во Франции.

Мысль о необходимости организации службы прогнозов о паводках возникла среди французских инженеров в связи с постигшими Францию в 30—40-х гг. прошлого века стихийными бедствиями — уже упоминавшимися выше наводнениями в бассейнах рек Луары, Сены, Роны и др. Причиной всех этих наводнений были сильные ливни во время дождливых зим. Напитанные влагой речные водосборы не могли задержать сток ливневых вод, и уровни воды на реках достигали небывалой высоты. Убытки от наводнений в густонаселенных долинах Луары и Сены были огромны. Пострадала от наводнений и столица Франции Париж.

Изучить причины катастрофических подъемов воды и разработать способы предупреждения о наводнениях было поручено молодому в то время инженеру-гидротехнику Ф. Э. Бельграну, который посвятил этой задаче свыше 20 лет. Используя наблюдения организованной им сети гидрометрических станций, водомерных и дождемерных постов в бассейне р. Сены, Бельгран исследовал общие закономерности возникновения паводков в зависимости от выпавших дождей, степени водопроницаемости слагающих речной водосбор горных пород, расположения притоков и других факторов. Полученные результаты Бельгран обобщил в классической монографии, изданной в 1872 г.: «Река Сена. Гидрологические исследования. Режим осадков, источников, водотоков. Применение в сельском хозяйстве»¹.

Первые опытные прогнозы были выпущены Бельграном в 1850 г., а в 1854 г. прогнозы паводков на р. Сене, в частности у Парижа, выпускались уже официально и сообщались в административные органы для принятия предупредительных мер.

Прогнозы составлялись по методу соответственных уровней. Этот метод основан на том, что паводок, начавшийся в верхнем течении реки, постепенно продвигается вниз по реке с определенной скоростью (на равнинных реках около 40—60 км в сутки), претерпевая при этом некоторые закономерные изменения. Зная высоту паводка (уровня воды) по показаниям водомерных постов в верхнем течении реки, продолжительность продвижения паводка от этих постов до одного из постов в нижнем течении и изучив характер изменения высоты паводка по длине реки

¹ F. E. Belgrand. La Seine, études hydrologiques. Régime de la pluie, des sources, des eaux courants. Application à l'agriculture. Paris, ed. Dunod, 1872.

(в частности, в зависимости от впадения притоков), можно предсказать высоту паводка (уровня воды) на нижнем посту. Расстояние между верхними и нижними постами предопределяет заблаговременность прогноза: чем больше это расстояние, тем продолжительнее при прочих равных условиях продвижение паводка от верхних до нижних постов и с тем большей заблаговременностью можно составить прогноз. Для Парижа предварительный прогноз выпускался за 8 дней до прохождения пика паводка. Точность предварительного прогноза составляла ± 50 см при максимальном подъеме уровня воды во время паводка около 5—6 м. Затем, по мере продвижения паводка вниз по течению, прогноз постепенно уточнялся, и за сутки до наступления наивысшего уровня у Парижа точность прогноза доходила до 10—20 см.

Созданная Бельграном служба гидрологических прогнозов и информации в бассейне Сены, которой он руководил до самой своей смерти (1878 г.), послужила образцом при организации подобных служб в конце XIX в. в бассейнах других рек Франции (Луары, Мёз [Маас], Гаронны и др.), которыми руководили ученики Бельграна (Аллар, Бабине, Вуазен, Лемуан, Мазуе и др.), а также в Германии (бассейны Рейна, Одера и Эльбы), где совершенствованием методики прогнозов занимались А. Гарляхер и Х. Рихтер, и в Австрии (в бассейне Дуная и Эльбы) под руководством инженеров Мааса, Печа, Ишковского.

В России вопрос о практической важности организации службы предупреждения о наводнениях впервые поставил А. И. Воейков в 1884 г. в своей замечательной статье «Реки России», в которой он подчеркивал особую важность исследований и прогнозов весеннего половодья, зависящего в основном от количества снега, накопившегося в бассейне реки к весне и от условий и интенсивности его таяния; обширная программа исследований и наблюдений, необходимых для разработки методов прогнозов половодья, предложенная Воейковым, была полностью осуществлена лишь в XX в.

Регулярный выпуск гидрологических прогнозов в России был организован впервые в 1894 г. на Волге, в Казанском округе путей сообщения, инженером В. Г. Клейбером. Прогнозы составлялись по методу соответственных уровней, однако, в отличие от прогнозов Бельграна, прогнозировались не наивысшие уровни

паводков, а наименьшие глубины на перекатах, представлявших серьезные помехи для судоходства. На некоторых перекатах (общее число их от Рыбинска до устья доходило до 200) глубины в летнее маловодье уменьшались примерно до 1 м и такие перекаты становились временно непроходимыми для судов вплоть до естественной прибыви воды от дождей или углубления судового хода на перекате землечерпательным снарядом. Прогнозы выпускались с довольно значительной заблаговременностью — до 10—15 дней и отличались хорошей оправдываемостью (в среднем в пределах 5—10 см).

Примечательно, что Клейбер при составлении прогнозов пользовался не только методом соответственных уровней, носящим до некоторой степени формально-статистический характер, и синоптическими обзорами погоды Главной физической (ныне геофизической) обсерватории, но и телеграфными сведениями о выпадении осадков в той или иной части бассейна Волги. Этот прием позволял ему связывать ожидаемые изменения уровня непосредственно с обуславливающими их метеорологическими факторами, увеличивать заблаговременность прогнозов и повышать их точность.

Теоретическим обоснованием метода прогноза по соответственным уровням занимались в России в 90-х гг. прошлого века, кроме В. Г. Клейбера, инженеры путей сообщения Д. Д. Гнусин и Л. И. Квицинский.

Прогнозы глубин на волжских перекатах выпускались в течение нескольких лет и были прекращены после того, как на Волге стало применяться в широких размерах землечерпание, что нарушило зависимость между глубинами на фарватере и колебаниями уровня воды и, следовательно, сделало невозможным прогнозирование по методу, разработанному Клейбером.

В последние годы 19-го столетия Главная физическая обсерватория начала прогнозировать с помощью синоптических карт подъема воды в устье р. Невы, связанные с прохождением циклонов над Балтийским морем; эти прогнозы, в частности, были использованы для вывода броненосца «Севастополь» из Невы в октябре 1898 г.

Централизованная служба гидрологических прогнозов в нашей стране была создана лишь в 30-х гг. текущего столетия.

В настоящее время Гидрометеорологическая служба СССР выпускает ежегодно для самых различных отраслей народного хозяйства свыше 10 тысяч долгосрочных гидрологических прогнозов и свыше 100 тысяч краткосрочных прогнозов всех важнейших элементов режима рек и озер — расходов воды рек и уровня воды на реках и озерах во время половодья, дождевых

паводков и летней межени, замерзания и вскрытия рек, замерзания и очищения ото льда озер и водохранилищ и т. д.

По числу выпускаемых прогнозов, охвату прогнозами водных объектов — рек, озер, водохранилищ, морей — и полноте прогнозируемых элементов водного и ледового режима наша страна занимает первое место в мире.

Мы коснулись лишь нескольких направлений в развитии гидрологической науки в XIX в., почти не затронутых в книге Бисваса, — стационарных и гидрографических исследований, водного баланса, гидрологических прогнозов. Для более полного представления о том, какие успехи были достигнуты гидрологией рек в прошлом веке, необходимо еще упомянуть об изучении переноса речным потоком наносов и процессов формирования речного русла, т. е. образования излучин, плесов, перекатов и т. п. Широкое развитие эти исследования получили в то время во Франции, где ими занималась целая плеяда талантливых инженеров-гидротехников — А. Баумгартен, П. Дюбуа, Л. Ж. Фарг, Г. Жирардон и др. Исключительно ценный вклад в развитие учения о русловом процессе внесли русские ученые, инженеры-путейцы Н. С. Лежневский и В. М. Лохтин; исследования В. М. Лохтина получили высокую оценку и признание его французских коллег, некоторые из его трудов не утратили своего научного значения и по настоящее время.

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

Стр. 5.

1. Огюст Кон — французский буржуазный философ, основатель позитивизма (1798—1857).

2. Автор преувеличивает в своем утверждении, что не существует общепризнанного определения гидрологии как науки. Более или менее однородные по своему содержанию определения гидрологии приводятся во многих учебных, официальных и справочных изданиях. Например, в Международном гидрологическом словаре, опубликованном Всемирной метеорологической организацией совместно с ЮНЕСКО (International Glossary of Hydrology, Second Draft of Definitions in English, WMO — UNESCO, Geneva, 1969), автор мог бы найти следующее определение гидрологии: «Гидрология — наука, изучающая воды земного шара, их распространение, перемещение и распределение, их химические и физические свойства и взаимодействие с окружающей средой». Один из наиболее известных американских курсов гидрологии — «Прикладная гидрология» Р. К. Линслея, М. А. Колера и Д. Л. Х. Паулюса (русский перевод этой книги издан Гидрометеоздатом в 1962 г.) — начинается со следующего определения гидрологии: «Гидрология является отраслью физической географии, в которой рассматриваются воды земного шара с точки зрения их свойств, состояния и распределения. Предметом ее исследования, в частности, являются распространение воды на земном шаре, гидросфера, физическое влияние воды на сушу и значение воды для жизни на Земле».

Совпадает с этими формулировками и определение, приведенное в официальном издании Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР «Гидрология суши, термины и определения, ГОСТ 19179—73» (М., 1973): «Гидрология — наука, изучающая гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой».

Стр. 8. Развалины городского поселения 3—2-го тысячелетия до н. э. в Пакистане (провинция Синд).

Стр. 9. Плотины были сооружены в русле временного водотока — так называемого «вади».

Стр. 13. В настоящее время это озеро (Биркет-Карун) имеет площадь 233 км², глубина его не превышает 5 м, вода слабосоленоватая. Зеркало озера расположено на 49 м ниже уровня моря. Возможно, что озеро имеет подземный сток, направленный на север.

Стр. 24. В среднеазиатских республиках Советского Союза эти сооружения называются кяризами.

Стр. 42. Платон (от греч. «платюс» — широкий) было прозвищем философа, настоящее же его имя — Аристокл.

Стр. 47.1. Пятым элементом Аристотель считал «эфир», из которого состоят тела небесного мира (звезды).

Стр. 61.2. Греческий философ-перипатетик III в. до н. э.

Стр. 67. «Волшебный прут», «волшебная лоза» — раздвоенный в виде рогатки древесный или металлический прут, которому приписывается свойство приводить в движение в руках несущего его водо- или рудоискателя («прутоносца») при приближении к подземным водам или рудным месторождениям. Несмотря на полную неясность вопроса о том, имеет ли этот метод какую-либо научную основу, волшебный прут применяется при поисках под-

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

272/273

земных вод и рудных тел во многих странах вплоть до настоящего времени. Зарубежная литература о волшебном пруте огромна.

Стр. 66. Диоптры — прибор для визирования предметов на местности, состоящий из двух вертикальных рамок с натянутыми визирными нитями; рамки укрепляются на линейке (алидаде) или на горизонтальном круге.

Стр. 70. Мощная дорога, которая вела из Рима на юг, в городе Капуа и Бриндизи. Остатки ее сохранились до наших дней.

Стр. 79. Ветры северных направлений, дующие с апреля по октябрь в восточной части Средиземного моря.

Стр. 90. Учение о конце мира.

Стр. 112. Одометр — старинный прибор в виде колеса для измерения пройденного расстояния, прототип современного спидометра.

Стр. 114. Суточный ход колебаний уровня горных рек, берущих начало из ледников, обусловлен, как известно, усиленным таянием ледников в дневные часы.

Стр. 121. Автор не прав, безоговорочно приписывая Агриколе веру в «волшебный прут». В своей книге «О металлургии» Агрикола очень осторожно высказывается об эффективности «волшебного прута» и рекомендует придерживаться при поисках полезных ископаемых «скорее естественных их признаков, чем показаний „волшебной палочки“». См также примечание к стр. 67.

Стр. 123. Сирокко — сильный теплый ветер южных направлений в Средиземноморском бассейне.

Стр. 141. Эта книга, «Geographia generalis», в 1718 г. была переведена на русский язык под названием «География генеральная, небесный и земноводный круги с их свойствами и действия в трех книгах описующая».

Стр. 179. К. Рен — крупнейший английский архитектор, создатель английского стиля классицизма.

Стр. 181. Весьма сомнительное утверждение автора, вызванное, вероятно, неправильным толкованием малопонятного «технического» текста XVII в. Судя по дальнейшему изложению, на ленту накалывались только отметки времени (через каждые 15 минут) и качания (опрокидывания) дождемерного сосуда, а также, возможно, и число оборотов анемометра. Маловероятно, чтобы во времена Рена удалось осуществить регистрацию показаний термометра, барометра и гигрометра с помощью перфоленты.

Стр. 195. Судходный Южный канал (Франц. «Каналь дю Миди») соединяет Атлантический океан (г. Бордо) со Средиземным морем (порт Сет); частично проходит по р. Гаронне.

Стр. 200. Это училище (Ecole des Ponts et Chaussées), существующее и поныне, — старейшее высшее техническое учебное заведение Франции. В нем преподавали многие выдающиеся ученые.

Стр. 213. Научно-исследовательский гидрологический центр Уоллингфорд находится около Оксфорда, значительно южнее Ливерпуля.

Стр. 221. Военная академия США.

Стр. 232. Г. К. Эшер впервые в 1821 г. подсчитал ежедневные расходы воды (р. Рейна у Базеля), пользуясь таблицей связи уровней расходов. А. Баумгартен первым в 1940 г построил кривую расхода воды (для р. Гаронны) и подсчитал по ней сток.

Стр. 237. Во второй половине XIX в. был предложен ряд эмпирических формул для расчета максимального стока с небольших водосборов,

такого же типа, как формула Мальвани 1847 г. Одной из первых и получивших широкое распространение была формула австрийского инженера Кёстлина, опубликованная в 1868 г: $Q=1,875aF$, где коэффициент 1,875 выражает предельную интенсивность ливней, a — коэффициент стока, F — площадь водосбора. Эта формула использовалась долгое время, начиная с 1882 г., в России при расчетах отверстий для пропуска ливневых вод на железных дорогах. Первая самостоятельная попытка нормировать расчеты максимальных расходов (талых вод) была предпринята у нас Министерством путей сообщения в 1877 г.

Стр. 247. Ч. Эллет был только первым американским инженером, подсчитавшим сток. Он пользовался при этом кривой расхода воды, идею которой он разработал несколько позже французского инженера А. Баумгартена, но, по-видимому, независимо от него.

Стр. 250. Не совсем ясно, по какому принципу составлен этот список; представляется, что далеко не все из включенных в него ученых и инженеров действительно сделали много для развития гидрологии. В сущности, лишь двое упомянутых здесь ученых действительно оставили заметный след в истории гидрологии — это Ф. Бельгран и Ж. Сен-Венан.

Ф. Е. Бельгран — выдающийся французский гидролог, которого иногда называют основоположником современной гидрологии, автор классического труда «Сена, гидрологические исследования» (Париж, изд. Дюно, 1872). См. о нем также в «Послесловии».

Ж. Бресс — французский инженер, один из учеников Бельграна, автор ряда статей по методике гидрометрических работ.

А. Фтели — американский инженер, выполнил ряд интересных в методическом отношении гидрометрических исследований (частично совместно с Ф. П. Стирнсом), сконструировал совместно со Стирнсом гидрометрическую вертушку с электрическим сигналом (вертушка Фтели—Стирнса) не получившую, впрочем, широкого распространения.

А. Ж. К. де Сен-Венан — французский ученый в области механики, член Парижской Академии наук. Автор трудов по теории упругости, сопротивлению материалов, гидравлике и гидродинамике. Дал формулировку принципа смягчения граничных условий.

Ф. Р. Стирнс — см. А. Фтели.

Ю. Вайсбах — видный немецкий гидравлик, автор капитального труда «Экспериментальная гидравлика» (1855), первого руководства по измерению расхода воды в лабораторных условиях, а также ряда работ по гидрометрическим приборам.

Кроме этих ученых, в этот перечень с неменьшим правом могли бы войти А. Пенк, А. И. Воейков, О. Рейнольдс, Ф. А. Форель, В. М. Лохтин, П. С. Леявский, Г. Жирардон, Л. Фарг, В. Эри, Л. Навье, Д. Стокс.

Стр. 251. Автор несколько переоценивает значение Геологической службы США (U. S. Geological Survey) в деле сбора и публикации гидрометрических данных. Государственные гидрологические учреждения ряда европейских стран, в том числе и России, начали издания гидрологических ежегодников ранее геологической службы США (См. «Послесловие»).

Во второй половине XIX в. в большинстве европейских стран были организованы сети водомерных постов и гидрометрических станций, на которых велись систематические наблюдения за уровнем и измерения расхода воды. В России общегосударственная сеть водомерных постов была создана в 1875 г., но на некоторых судоходных водных системах и в отдельных пунктах на крупных судоходных реках регулярные наблюдения за уровнем воды были начаты значительно раньше: на Немане у Смаленинкой с 1812 г., на Западной Двине у Двинска с 1816 г., на Вышневолоцкой системе с 1818 г., на Волге у Нижнего Новгорода с 1820 г., у Астрахани с 1844 г., у Казани с 1848 г. и т. д. Первый водомерный пост в России был устроен в 1715 г. на Неве у Петропавловской крепости.

Перевод английских мер в метрические

Меры длины

миля (уставная в Великобритании и США) = 1,609 км
ярд = 3 фута = 0,91 м
фут = 12 дюйма = 0,305 м
дюйм = 10 линиям = 2,54 см
линия = 2,5 мм

Меры площади

кв. миля = 640 акрам = 2,59 кв. км
акр = 0,405 га

Меры объема

галлон (ам.) = 3,785 л
фут³/сек = 0,0283 м³/сек
фут³/сек с кв. миля = 10,93 л/сек с км²
акро-фут — объем воды, покрывающей площадь 1 акр слоем 1 фут = 1233,485 м³
хогсхед = 238,5 л

Краткий словарь основных гидрологических терминов

Вертушка гидрометрическая — прибор для измерения скорости течения воды в реках. Состоит из лопастного винта (ротора), который приводится во вращательное движение потоком воды, и счетного механизма, фиксирующего число оборотов винта. Действие прибора основано на том, что скорость вращения винта, погруженного в поток, зависит от скорости течения воды. Вертушка — основной гидрометрический прибор, применяемый при определении расхода воды (см) в реках.

Водный баланс — соотношение прихода и расхода воды за определенный промежуток времени (многолетний период, год, месяц, декаду) для речного бассейна (или любого другого участка суши, например, административной области, географического района и т. д.) или для водного объекта — озера, болота. Основная приходная часть водного баланса — атмосферные осадки, расходная часть — испарение и речной сток.

Водный объект — местное скопление природных вод в виде реки, озера, болота и т. п.

Водомерный пост — устройство для систематических измерений высоты уровня воды в реке, озере, водохранилище. В СССР наиболее распространены свайные водомерные посты, состоящие из ряда свай, забитых в русло реки по линии, перпендикулярной берегу. Отсчет уровня воды на свайном посту производится при помощи переносной, разделенной на сантиметры, водомерной рейки, которую ставят в момент измерения на головку ближайшей к берегу сваи, погруженной в воду. За рубежом применяются не свайные, а речные водомерные посты, на которых отсчеты уровня воды производятся на постоянной водомерной рейке, укрепленной в русле реки на стенке

набережной, кусте свай, опоре моста и т. п. В настоящее время свайные и речные посты все больше заменяются автоматическими постами, на которых устанавливаются самописцы уровня воды, ведущие непрерывную регистрацию колебаний уровня.

Водосбор — участок суши, с которого происходит сток атмосферных осадков в речную систему, отдельную реку, озеро. Обычно не делают различия между терминами водосбор и речной бассейн.

Водохранилище — искусственный водоем, образованный плотиной в русле реки с целью накопления воды в многоводные периоды (например во время весеннего половодья) для ее расходования на различные цели в периоды маловодья. Малые водохранилища называют прудами.

Гидрография — раздел гидрологии суши, занимающийся изучением и описанием конкретных водных объектов — отдельных рек, озер и т. п., их положения, размеров, режима, а также совокупности водных объектов (гидрографической сети) какой-либо территории и всего земного шара в целом.

Гидрологическая сеть — совокупность гидрологических станций и постов (см.), размещенных на какой-либо территории.

Гидрологическая станция (в СССР) — учреждение, основной задачей которого является изучение гидрологического режима на территории его деятельности с помощью наблюдений на подчиненных ему гидрологических постах (см.). За рубежом гидрологическими станциями называют также и гидрологические посты.

Гидрологический пост — пункт на водном объекте, оборудованный для систематических гидрологических наблюдений.

Гидрологический режим — совокупность изменений состояния водного объекта во времени, обусловленных в первую очередь климатическими факторами (выпадением дождей, таянием снежного покрова и т. п.). Гидрологический режим охватывает многолетние, сезонные и суточные изменения уровня, расхода и температуры воды, количества и состава переносимых рекой наносов (см.), ледовых явлений и др.

Гидрологический цикл — см. круговорот воды в природе.

Гидрометрические работы — измерения, наблюдения и другие работы, выполняемые на водных объектах с целью изучения их гидрологического режима, а также работы по оборудованию соответствующих устройств. К основным видам гидрометрических работ относятся наблюдения за уровнем воды и измерения расходов воды, а также наносов на реках, включая промеры глубин русла и измерения скоростей течения.

Гидрометрический створ — закрепленный на местности поперечник через русло реки, на котором регулярно измеряются расходы воды; на самом створе или поблизости от него устраивается водомерный пост (см.), к показаниям которого (высоте уровня воды) относят измеренные расходы воды и строят кривую расхода (см.).

Гидрометрия — измерительный раздел гидрологии суши, в котором рассматриваются методы и приборы, применяемые для измерений и наблюдений элементов гидрологического режима водных объектов.

Дождемер — прибор для измерения количества выпавших атмосферных осадков. Главная его часть — металлический сосуд («дождемерное ведро») со строго определенной площадью приемной поверхности (в СССР — 500 см²), служащий для улавливания выпадающих осадков, которые для измерения их количества переливаются из ведра в стеклянную мензурку. Существует много моделей саморегистрирующих дождемеров (плювиографов).

Измерение расхода воды — см. расход воды.

Коэффициент стока — отношение слоя (или объема) стока к слою (объему) выпавших на площади водосбора осадков, обусловивших возникно-

вление стока. Коэффициент стока показывает, какая часть осадков идет на образование стока.

Кривая расхода воды — кривая, выражающая зависимость расхода воды (см.) от уровня воды (наполнение русла) для данного гидрометрического створа (см.). Кривая расхода строится по данным о расходах, измеренных в данном створе при различных уровнях воды. Она широко применяется в гидрометрии для подсчетов речного стока (см.) по данным об уровнях воды. Методам ее построения посвящена обширная литература.

Круговорот воды в природе — непрерывный, практически замкнутый процесс обращения воды на земном шаре, происходящий под воздействием солнечной радиации и силы тяжести. Основные фазы круговорота воды — испарение воды с поверхности океана и суши в результате солнечной радиации, перенос водяного пара воздушными течениями, конденсация водяного пара и выпадение осадков на поверхность океана и суши, сток выпавших на суше осадков в океан по поверхности земли (речной сток) или подземным путем. В настоящее время вместо термина «круговорот воды» часто употребляют термин «гидрологический цикл», заимствованный из американской гидрологической терминологии.

Наносы речные — твердые частицы (ил, песок, галька и т. п.), переносимые течением воды в реках. Различают взвешенные наносы — более мелкие частицы, перемещающиеся во всей толще речного потока во взвешенном состоянии, и донные (влекомые) наносы — более крупные частицы, перемещающиеся по дну потока путем скольжения или перекатывания.

Паводок — интенсивный, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в реке, вызванный увеличением расхода воды в результате обильных дождей или оттепели. В отличие от половодья, паводки возникают нерегулярно в различные сезоны года и в течение года могут повторяться многократно.

Половодье (весеннее) — ежегодно повторяющийся весной высокий и длительный подъем уровня воды в реке, обычно сопровождающийся выходом реки из берегов вследствие резкого увеличения расхода воды. Половодье вызывается весенним таянием снежного покрова.

Расход воды в реке — объем воды, протекающей через поперечное сечение реки в единицу времени; обычно выражается в кубических метрах в секунду. Наиболее распространенным методом измерения (точнее — определения) расхода воды является метод «площадь — скорость», при котором определяют площадь поперечного сечения речного потока (для этого измеряют ширину потока и его глубину на различных расстояниях от берега) и скорость течения (обычно вертушкой, в различных точках поперечного сечения). Расход воды равняется произведению площади поперечного сечения на среднюю скорость течения в данном поперечном сечении. Иногда скорость течения определяют с помощью поплавков, пускаемых по течению реки; скорость движения поплавков измеряется с берега. Средний многолетний расход — одна из главных гидрологических характеристик реки.

Речной сток — 1) процесс перемещения воды (от выпавших на поверхность суши атмосферных осадков) по речным руслам; этот процесс является важным звеном круговорота воды в природе; 2) количество (объем или

слой) воды, стекающей по руслам рек с речного бассейна за некоторый период времени (год, месяц, сутки). Объем стока для данного гидрометрического створа подсчитывается по ежедневным данным об уровнях воды на водомерном посту с помощью кривой расхода воды (см.); он выражается обычно в миллионах кубических метров или в кубических километрах. Слой стока (см.) вычисляется путем деления объема стока на площадь водосбора и выражается в миллиметрах высоты слоя.

Русловой процесс — непрерывно происходящие изменения формы речного русла, обусловленные действием текущей воды, т. е. образование излучин плесов (глубоких участков), перекатов (мель в виде широкой гряды, пересекающей русло под углом к общему направлению течения), пляжей и т.п.

Слой осадков — количество осадков, выпавшее за какой-либо промежуток времени и выраженное в виде высоты слоя воды (обычно в мм или см), равномерно распределенного по поверхности земли.

Смоченный периметр — длина подводного контура поперечного сечения руслового потока, т. е. линия контакта воды с дном в данном поперечном сечении потока.

Глава 1

1. BISWAS A. K. Hydrology during the Hellenic Civilization. Bulletin International Association, of Scientific Hydrology, 1967, 12, p. 5—14.
2. DALES G. F. The decline of the Harappans.— Scientific American, 1966, 214, p. 92—100.
3. BISWAS A. K. A short history of hydrology.— In: Proceedings of the International Seminar for Hydrology Professors. Urbana, 1969.
4. DROWER M. S. Water-supply, irrigation and agriculture.— In: A history of technology. Vol. I. London, Oxford University Press, 1954, p. 520—557.
5. MURRAY G. W. Water from the desert: some ancient Egyptian achievements.— "The Geographical Journ.", 1955, 121, p. 171—181.
6. MURRAY G. W. Desiccation in Egypt.— Bulletin de la Société Royale de Géographie d'Egypte, 1949, 23.
7. HELSTROM B. The oldest dam in the world. Bulletin Institution of Hydraulics. Royal Institute of Technology (Stockholm), 1951, N. 28.
8. MATSCHOSS C. Great engineers, translated by H. S. Hatfield. London, 1939, p. 5.
9. BRITTAIN R. E. Rivers, man and myths, from fish spears to water mills. New York, Doubleday and Co. Inc., 1958, p. 59.
10. PAYNE R. The canal builders. New York, 1959, p. 13—16.
11. HATHAWAY G. A. Dams — their effect on some ancient civilizations.— "Civil Engineering, ASCE", 1958, 28, p. 58—63.
12. JARVIS C. S. Flood-stage records of the River Nile. "Proceedings, ASCE", 1936, 62, p. 1012—1071.
13. BORCHARDT L. Nilmesser und Nilstandsmarken.— In: Preussische Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Abhandlungen nicht zur Akademie gehöriger Gelehrter, N. 1, Berlin, 1906.
14. ENGREN F. E. The nilometer in the Serapeum at Alexandria.— "Medievalia et Humanistica", 1943, 1, p. 3—13.
15. SARTON G. A. History of science: ancient science through the Golden Age of Greece. Harvard University Press, 1959, p. 79.
16. SCHAACK M. Hundert Jahre Wassermessung.— "Neue Deliwa Zeitschrift zur Förderung des Gas-, Wdsser- und Elektrizitätsfaches". 1953, 1, p. 132—135.
17. COMMITTEE 86ID. Water meters — Selection, installation, testing, and maintenance. Chap. 1. Early history of water measurement and the development of meters.— "Journ. American Water Works Association", 1959, 51, p. 791—799.
18. WULFF H. E. The qanats of Iran.— "Scientific American", 1968, 218, p. 94—105.

Глава 3

1. BISWAS A. K. The hydrologic cycle.— "Civil Engineering, ASCE", 1965, 35, p. 70—74.
2. KRYNINE P. D. On the anaticuity of "sedimentation" theory and hydrology.— "Bull. Geolog. Soc. America", 1961, 71, p. 1712—1725.

3. PERRAULT P. Origin of fountains. New York, 1967.
4. MARIOTTE E. Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides. Paris, 1686.
5. RUHLMANN M. Die technische Mechanik. Dresden, 1845.
6. HALLEY E. Ana account of the circulation of water vapours of the sea, and of the cause of springs. "Philosophical Transactions R. Soc. London", 1691, 16, p. 468—473.
7. HALLEY E. An estimate of the quantity of vapour raised out of the sea, and of the cause of springs. "Philosophical Transactions R. Soc. London", 1687, 16, p. 366—370.
8. HALLEY E. An account of the evaporation of water.— "Philosophical Transactions R. Soc. London" 1694, 18, p. 183—190.
9. HALLEY E. A short account of the cause of the saltness of the ocean. "Philosophical Transactions R. Soc. London", 1715, 29, p. 296—300.
10. FRANÇOIS J. La science des eaux qui explique en quatre parties leur formation, communication, mouvements et mélangers. Rennes. 1653.
11. BISWAS A. K. Beginning of quantitative hydrology.— "Journ. Hydraulics Division, ASCE", 1968, 94, p. 1299—1316.

Глава 11

1. BISWAS A. K. The automatic raingauge of Sir Christopher Wren.— "Notes and Records of the R. Soc. of London", 1967, 22, p. 94—104.
2. HELLMANN G. Die Anfänge der meteorologischen Beobachtungen und Instrumente. Berlin, 1890, p. 1—24.
3. SYMONS G. J. A. contribution to the history of raingauges.— "Quart. Journ. R. Meteorol. Soc." 1891, 17, p. 127—142.
4. BISWAS A. K. Development of raingauges.— "Journ. Irrigation and Drainage Division, ASCE", 1967, 93, p. 99—124.
5. MIDDLETON W. E. K. The first meteorographs.— "Physic. Rivista di Storia della Scienza", 1961, 3, p. 213—222.
6. HORTON R. E. The measurement of rainfall and snow. "Journ. New England Water Works Association", 1919, 33, p. 14—23.
7. JURIN J. Invitatio ad observationes meteorologicas communi consilio instituendas. (An invitation to an association for forming meteorological diaries with a specimen). — "Philosophical Transactions R. Soc. London," 1723, 32 p. 422—427.
8. DOBSON D. Observations of annual evaporation at Liverpool in Lancashire.— "Philosophical Transactions R. Soc. London", 1777, 67, p. 244—259.
9. DALTON J. Experiments and observations to determine whether the quantity of rain and dew is equal to the quantity of water carried off by the rivers and raised by evaporation; with an enquiry into the origin of springs.— "Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester", 1802, 5, p. 346—372.
10. SYMONS G. J. On the rainfall of the British Isles.— Report of the 35th Meeting of the British Association for the Advancement of Science, Sept. 1865, London, 1866, p. 192—242.

Глава 12

1. VALLISNIERI A. Lezione accademica intorno all'origine delle fontane. Venezia, 1715.
2. POLENI G. De motu aqua mixto libri due. Patavii, 1717.
3. SWITZER S. An introduction to a general system of hydrostatics and hydraulics, vol. I, 1729, p. 27—29.

4. DE PITOT H. Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux.— Memoires de l'Académie Royale des Science, 1732, p. 363—376. repr. in La Houille Blanche. N. 8, 1966, p. 922—936.
5. HERSCHEL C. On the origin of the Chézy formula.— "Jour. Association Engineering Societies", 1897, 18, p. 363—369.
6. MOURET G. Antoine Chézy, histoire d'une formule d'hydraulique.— "Annales des Ponts et Chaussées", 1921, 2.
7. DU BUAT P. L. G. Principes d'hydraulique, 2 vols. Paris, 1786.
8. FRISI P. Dei modo di regolare i fiumi e i torrenti. Lucca, 1762.
9. ZENDRINI B., MANFREDI E. Leggi e fenomeni, regolazioni ed usi delle acque correnti. Venezia, 1741.
10. GRANDI G. Del movimento dell'acque trattato geometrico.— In: Raccolta d'autori chi trattano del moto dell'acque. Firenze, 1723.
11. LELIAVSKY S. Historic development of the theory of the flow of water in canals and rivers.— "Engineer", 1951, N. 1, p. 466—468.
12. LELIAVSKY S. River and canal hydraulics. London, 1965, p. 3—5.
13. VENTURI G. B. Recherches expérimentales sur le principe de la communication laterale du mouvement dans les fluides. Paris, 1797.
14. BISWAS A. K. Experiments on atmospheric evaporation until the end of the eighteenth century.— "Technology and Culture", 1969, 10, p. 49—58.
15. RODDA J. C. Eighteenth century evaporation experiments.— "Weather", 1953, 18, p. 266.
16. DALTON J. Experiments and observations to determine whether the quantity of rain and dew is equal to the quantity of water carried off by the rivers and raised by evaporation; with an enquiry into the origin of springs.— Memoirs, Literary and Philosophical Society of Manchester, vol. 5, part 2, 1802, p. 346—372.
17. MANLEY G. Dalton's accomplishment in meteorology.— In: John Dalton and the progress of science. Manchester, 1968, p. 140—158.
18. GOODMAN N. M. The ingenious Dr. Franklin. Philadelphia, 1956, p. 188—197.
19. HERBERDEN W. Of the different quantities of rain, which appear to fall, at different heights, over the same spot of ground. "Philosophical Transactions R. Soc. London", 1769, 59, p. 359—362.
20. WOLTMAN R. Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamburg, 1790.

Глава 13

1. EYTELWEIN J. A. Handbuch der Hydrostatik. Berlin, 1826.
2. DE COULOMB C. A. Expériences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur resistance dans les mouvements très lents.— "Mémoires de l'Institut National des Sciences et Arts, vol. 3," 1800.
3. DE PRONY G. C. F. M. R. Recherches physico-mathematiques sur la théorie des eaux courantes. Paris, 1804.
4. COURTOIS E. Principes d'hydraulique rationale applicables aux courants naturels tels que les rivières et les fleuves. Paris, 1850.

5. LAHMEYER J. W. Erfahrungs-Resultate über gleichförmige Bewegung des Wassers in Flussbetten und Kanälen. Braunschweig, 1845.
6. DE ST. VENANT J. C. B. Formules et tables nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes.— "Annales des Mines", 1851.
7. DARCY H. P. G. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, 1856.
8. DARCY H. P. G., BAZIN H. E. Recherches hydrauliques. Paris, 1865.
9. BAZIN H. E. Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts. Paris, 1898.
10. HUMPHREYS A. A., ABBOT H. L. Report upon the physics and hydraulics of the Mississippi river. Philadelphia, 1861.
11. KOLUPAILA S. Bibliography of hydrometry. Notre Dame, Indiana, 1961, p. 253—258.
12. GANGUILLET E. O., KUTTER W. R. Versuch zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen. Bern, 1877.
13. MANNING R. Observations on subjects connected with arterial drainage.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland". 1851, p. 90—104.
14. MANNING R. On the flow of water in open channels and pipes.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland", 1890, 20, p. 161—206.
15. GAUCKLER P. G. Etudes théoriques et pratiques sur l'écoulement et le mouvement des eaux.— "Comptes Rendus de L' Academie des Sciences", 1867, 64, p. 821.
16. GAUCKLER P. G. Du mouvement de l'eau dans les conduites.— "Annales des Ponts et Chaussées", 1868, 15, p. 229—281.
17. HAGEN G. W. Neuere Beobachtung über die gleichförmige Bewegung des Wassers. Zeitschrift für Bauwesen, 1881, 31, p. 403—408.
18. BUCKLEY R. B. Design of channels for irrigation and drainage. London, 1911.
19. MAASS. Die Wasserstände der Elbe in den Jahren 1727 bis 1870. Zeitschrift für Bauwesen, Berlin, 1870, p. 496—502.
20. BERGHAUS H. C. W. Allgemeine Länder- und Völkerkunde, 2nd vol., Umriss der Hydrographie. Stuttgart, 1837.
21. WEX G. V. First treatise on the decrease of water on sprigs, creeks, and rivers. Washington, 1881, p. 27.
22. JARVIS C. S. Flood-stage records of the river Nile.— "Proceedings ASCE", 1935, 61, p. 803—812.
23. KOLUPAILA S. Die Bestimmung des Abflusses des Memelstromes (Nemunas, 1812—1932).— In: IV Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Leningrad, September, 1933.
24. DAVENPORT R. W. Long records of river flow. In: Hydrology, New York, 1942, p. 499—506.
25. DOOGE J. C. I. The rational method for estimating flood peaks.— "Engineering", 1957, 184, p. 311—313, 374—377.
26. MULVANEY T. J. On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland", 1850—1851, 4, p. 18—31.
27. KUICHLING E. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts.— "Transactions, ASCE", 1889, 20, p. 1—56.
28. CHAMIER G. Capacities required for culverts and flood openings.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers". 1898, 134, p. 313—323.
29. LLOYD-DAVIES D. E. The elimination of storm water from sewerage systems.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers", 1906, 164, p. 41—67.
30. HERSCHEL C. The Venturi water meter: an instrument making use of a new method of gauging water.— "Transactions, ASCE", 1887, 17, p. 228.
31. SMITH W. On retaining water in the rocks for summer use.— "Philosophical Magazine, New Series 1", 1827, p. 415.
32. DUPUIT A. J. E. J. Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux. Paris, 1854.
33. BISWAS A. K. Development of hydrology in the nineteenth century.— "Water Power", 1969, 21, p. 16—21.
34. THIEM A. Die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher, Schachtbrunnen, und Filtergallerien.— "Journ. für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung", 1870, 14, p. 450—467.
35. THIEM A. Neue Messungsart natürlicher Grundwassergeschwindigkeiten.— "Journ. für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung", 1888, 31, p. 18—28.
36. THIEM A. Verfahren für Messung natürlicher Grundwassergeschwindigkeiten.— "Polytechnische Notizblatt", 1887, 42.
37. RICHARDSON L. F. A freehand graphic way of determining streamlines and equipotentials. "Philosophical Magazine and Journal of Science." London, Edinburgh and Dublin, 1908, 15, p. 237—269.
38. FORCHHEIMER P. Über die Ergiebigkeit von Brunnen-Anlagen und Sickerschlitzten.— "Zeitschrift der Architekten- und Ingenieur-Verein", 1886, 32, p. 539—564.
39. FORCHHEIMER P. Grundwasserspiegel bei Brunnenanlagen.— "Zeitschrift der österreichische Ingenieur- und Architekten-Verein", 1898, 50, p. 629—635, 645—648.
40. SLICHTER C. S. The motion of underground waters.— "Water-Supply Paper, 67, US Geological Survey, Washington", 1902.
41. BEARDMORE N. Manual of hydrology, London, 1862.
42. GROVER N. C. Progress in branch activities to June 30, 1906.— "Geological Survey", Washington, 1938, p. 183.
43. DICKENS C. H. Flood discharge of rivers.— "Professional Papers on Indian Engineering" (Roorkee, India), 1865, 2, p. 133—136.
44. CHOW V. T. Hydrologic determination of waterway areas.— "Bull. Engineering Experiment Station" (University of Illinois, Urbana), 1962, N. 462, p. 70—79.
45. RIPPL W. The capacity of storage reservoirs for water supply.— "Proceedings of the Institution of Civil Engineers", 1883, 71, p. 270—278.
46. FRAZIER A. H. Danial Farrand Henry's cup type 'telegraphic' river current meter.— "Technology and Culture", 1964, 5, p. 541—565.
47. FRAZIER A. H. William Gunn Price and the Price current meters.— In: Contributions from the Museum of History and Technology, Paper 70, Smithsonian Institution, 1967.

Послесловие редактора

1. Аполлов Б. А. Гидрологические информации и прогнозы. Москва — Свердловск, Гидрометеоздат, 1945. 500 с.

2. Зайков В. Д. Очерки гидрологических исследований в России. Л., Гидрометеиздат, 1973. 325 с.
3. Рундо А. М. Очерк организации гидрографических учреждений Западной Европы и Северной Америки.—«Отчеты о деятельности Комиссии по изучению естественных производительных сил России», 1919, № 17, с. 80—95.
4. Соколов А. А., Чеботарев А. И. Очерки развития гидрологии СССР. Л., Гидрометеиздат, 1970. 310 с.
5. Федосеев И. А. Развитие гидрологии суши в России. М., Изд. АН СССР, 1960. 301 с.
6. Федосеев И. А. Развитие знаний о происхождении, количестве и круговороте воды на Земле. М., «Наука», 1967. 135 с.
7. K O L U P A I L A S. Bibliography of Hydrometry. Notre Dame, Indiana, 1961. 975 p.
8. K O L U P A I L A S. Early History of Hydrometry in the United States.—"Journ. Hydraulic Division, ASCE", 1960, vol. 86, NH-1, p. 1—51.

Предисловие автора	5
Глава 1. Гидрология ранее VI века до нашей эры	7
Введение.— Гидротехнические работы в древности.— «Царь Скорпион» и царь Мин.— Плотина Садд эль-Кафара.— Великий Юй.— Фараон Аменемхет III.— Ниломеры и регулирование паводков.— Вавилонская табличка из Ура.— Кодекс Хаммураби.— Синноры Палестины.— Находки в Ниппуре.— Водомеры.— Использование грунтовых вод.— Марибская плотина.— Работы Сеннахериба.— Заключение.	
Глава 2. Эллинская цивилизация	31
Введение.— Фалес, древний гидролог.— От Анаксимандра до Ксенофана.— Анаксагор и Гиппон.— Вклад Геродота.— Представления Гипократа о воде.— Аристофан.— Заключение.	
Глава 3. Век Платона и Аристотеля	41
Введение.— Платон.— Аристотель.— Заключение.	
Глава 4. Период после Аристотеля.	53
Введение.— Теофраст о гидрологии.— Гидрометеорологические наблюдения.— Дождьмер Каутильи.— Заключение.	
Глава 5. Римская цивилизация	58
Введение.— Витрувий.— Измерение расхода воды.— Акведуки Рима.— Вклад Сенеки в гидрологию.— Круговорот воды.— Измерение атмосферных осадков в Палестине.— Заключение.	
Глава 6. Истоки Нила и его разливы	79
Введение.— Этезийские ветры Фалеса.— Гипотеза Океана.— Тающие снега Анаксагора.— Гипотеза Геродота.— Евнопид из Хиоса.— Диоген из Апполонии.— Гипотеза Демокрита: снег и этезийские ветры.— От Эфора до Страбона.— От Лукреция до Беды Достопочтенного.— Заключение.	
Глава 7. С 200 по 1500 год нашей эры	90
Введение.— Гидрология в раннем средневековье.— Исидор Севильский.— Бэда Достопочтенный.— Гидрометеорология.— Дождьмеры в Китае и Корее.— Заключение.	
Глава 8. Шестнадцатый век	101
Введение.— Леснардо да Винчи.— Джероламо Кардано.— Бернар Палисси.— Георг Агрикола.— Жак Бессон.— Исследования паводков Джована Фонтаны.— Заключение.	

Глава 9. Семнадцатый век	126
Введение.— Галилей, Кеплер и Декарт.— Кастелли о вычислении расхода воды в потоке.— Закон истечения жидкости.— Атанасиус Кирхер.— Шотт и Вехер.— Бернхард Варениус.— Вклад в гидрологию английских ученых.— Артезианские колодцы Модены.— Доменико Гульельмини.— Причина разливов Нила — селитра.— Происхождение рек.— Появление измерителей скорости течения.— Заключение.	
Глава 10. Возникновение количественной гидрологии	157
Введение.— Пьер Перро.— Эдм Мариотт.— Эдмунд Галлей.— Заключение.	
Глава 11. Дождемеры семнадцатого и восемнадцатого веков	177
Введение.— Письмо Кастелли Галилею.— Первый дождемер Кристофера Рена.— Дождемер с опрокидывающимся сосудом Рена — Гука.— Наблюдения Таунлея.— Измерения осадков Перро и Мариотта.— Начало восемнадцатого века.— Заключение.	
Глава 12. Восемнадцатый век	192
Введение.— Антонио Валисньери и Джованни Подени.— Капиллярная теория происхождения источников.— Определение скорости течения с помощью трубки Пито.— Даниил Бернулли и его уравнение.— Вычисления расхода, произведенные Шези и дю Бюа.— Паоло Фризи.— Джованни Баттиста Вентури.— Измерения испарения.— Другие работы по усовершенствованию приборов и методики наблюдений.— Заключение.	
Глава 13. Деятнадцатый век	219
Введение.— Формулы для расчета скорости течения и расхода воды.— Дарси и Базен.— Гемфрис и Аббот.— Гангилье и Куттер.— Роберт Маннинг.— Наблюдения над речным стоком.— Вывод рациональной формулы.— Гершель и водомер Вентури.— Гидрология подземных вод.— Форхгеймер и Сликтер.— Бердмор и его «Справочник по гидрологии».— Другие достижения.— Заключение.	
Послесловие редактора	252
Примечания редактора	273
Приложение	275
Список литературы	279