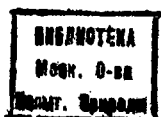


517, 747
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт истории естествознания и техники

И. А. ФЕДОСЕЕВ

РАЗВИТИЕ
ГИДРОЛОГИИ СУШИ
В РОССИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1960

К-

В книге освещены основные этапы развития гидрологии суши в России до 1917 г. Главное внимание уделено развитию гидрологических идей и теорий, связанных с пониманием круговорота воды, процессов речного стока и русловых явлений. История гидрологии суши в России излагается с учетом достижений гидрологической науки в других странах.

Ответственный редактор

Б. П. ОРЛОВ

Предисловие

В протекающих на Земле процессах, органических и неорганических, воде принадлежит первостепенная роль. В. И. Вернадский указывал¹, что ни одно природное тело не может сравниться с водой по влиянию на ход основных, самых грандиозных процессов на земной поверхности. Ввиду огромного значения воды в природе, а значит и в жизни человеческого общества, возник целый ряд научных дисциплин, изучающих свойства воды и ее превращения, а также те процессы, в которых она участвует в качестве главенствующего элемента. Важнейшее место в этом ряду занимает гидрология суши.

Гидрология суши² может быть определена как научная дисциплина, изучающая распределение вод суши, их режим и закономерности их взаимодействия с земной поверхностью и воздушной оболочкой. Основную и наиболее развитую часть гидрологии суши составляет гидрология рек, главнейшими разделами которой являются учения о стоке и учение о русловых процессах. Именно истории развития этих разделов, определяющих инженерное значение современной гидрологии суши, в этой работе уделено основное внимание.

Гидрология суши, начавшая свое формирование примерно с 80-х годов XIX в., до Великой Октябрьской социалистической революции входила в курсы физической географии и отдельными частями — в курсы гидротехники и метеорологии; в само-

¹ В. И. Вернадский. История минералов земной коры, т. II. История природных вод, ч. 1, вып. 1. Л., 1933, стр. 9.

² Сам термин «гидрология», употребленный впервые в сочинении немецкого ученого Мельхиора, изданном в 1694 г. во Франкфурте-на-Майне, появился в русской литературе едва ли раньше второй половины XVIII столетия. В статье «О натуральной истории вообще», напечатанной в марте 1762 г. в «Сочинениях и переводах к пользе и увеселению служащих», П. Варгенти пишется, что «под каким бы названием не рассуждать о воде, однако знание оной, то-есть гидрология, есть полезная и нужная часть натуральной истории...». В русском переводе книги Вальмонта де Бомара «Описание вод всякого рода», изданной в Москве в 1789 г., дается определение гидрологии как науки, «которая дает познание о водах естественных, различая воды простые от сложенных».

стоятельную научную дисциплину она выделилась лишь в 20-х годах XX в. Следовательно, история развития гидрологии суши в нашей стране может быть разделена на два периода: период до Великой Октябрьской социалистической революции и советский период.

В данной работе показано, что в первый период, начало которого уходит в глубокую древность, происходило накопление фактических данных и прежде всего гидрографических сведений об отдельных водных объектах. Наибольшее развитие получили в этот период гидрография (описательная часть гидрологии) и гидрометрия (измерительная ее часть). И хотя постепенно накапливались элементы гидрологических знаний, появились обобщающие представления по отдельным вопросам, гидрология в современном значении этого понятия начала складываться лишь в самом конце первого периода. Только после Октябрьской революции, когда все естественные богатства нашей страны стали общенародным достоянием и Советское государство приступило к планомерному использованию их, явилась возможность широких комплексных исследований водных объектов и углубленного опытного и теоретического изучения проблем гидрологии.

Одной из характерных черт развития отечественной гидрологии является ее тесная связь с запросами практики, с хозяйственной деятельностью людей. Но только практика социалистического строительства поставила перед гидрологией задачи, решение которых могло быть успешным лишь на основе развития всех разделов гидрологии, а не отдельных ее частей, как это было раньше. И все же, несмотря на ограниченность запросов, предъявлявшихся к гидрологии в первом периоде ее развития, роль русских ученых в создании гидрологической науки была исключительно плодотворной. Крупные достижения в гидрологии связаны с именами М. В. Ломоносова, А. И. Воейкова и В. В. Докучаева, В. М. Лохтина и Н. С. Лебявского, М. А. Рыкачева и Е. А. Гейнца, Ф. Г. Зброжека и Н. Е. Долгова, Е. В. Оппокова и Э. М. Ольдекопа, В. Г. Глушкова и многих других деятелей русской науки.

Но хотя русские ученые внесли большой вклад в развитие гидрологии, пока еще не существует работы, в которой нашли бы обобщенное освещение гидрологические исследования и теоретические достижения в области гидрологии суши в дореволюционной России. Из дореволюционных работ, касавшихся истории гидрологии суши, можно назвать лишь книгу Е. В. Оппокова «Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра», в первом томе которой (1904) содержится много сведений из истории учения о стоке, и книгу К. А. Акулова «Выправительные работы на р. Днепре» (1914), в которой автор кратко излагает исто-

рию развития учения о русловых процессах. Небольшие очерки по истории гидрологии суши имеются в современных учебниках и учебных пособиях по гидрографии, гидрологии и гидрометрии (С. А. Советова, М. А. Великанова, Б. А. Аполлова, Е. В. Близняка, А. В. Огиевского, Л. К. Давыдова, Д. Л. Соколовского и др.). Наиболее ранними историческими работами по гидрологии суши, напечатанными после революции, являются два очерка: В. М. Родевича «Обзор произведенных до 1923 года исследований рек России» и Л. С. Берга «Очерк исследований озер России». Оба очерка относятся к 1923 г. В очерке В. М. Родевича приводится достаточно полная сводка того, что было сделано в нашей стране к 1923 г. в области исследования рек. Однако автор, прослеживая развитие исследований вод суши, почти вовсе не останавливается на научных результатах исследований, на огромной роли русских ученых в создании гидрологии. Сказанное в равной мере относится и к работе Л. С. Берга. Приходится вместе с тем отметить, что в работах некоторых авторов имеются — и порой досадные — неточности фактического характера и встречается не всегда правильная оценка состояния исследований и развития науки.

Автор предлагаемой вниманию читателя книги взял на себя задачу осветить основные этапы истории гидрологии суши в первом, дореволюционном, периоде ее развития, основывая свое исследование на литературных первоисточниках и в некоторых случаях — на архивных материалах.

Хотя работа посвящена истории развития гидрологии суши в России, в ней показаны также достижения иностранных ученых в области гидрологии. Там, где речь идет о развитии основ самой науки, трудам иностранных исследователей уделено должное внимание.

Автор считал необходимым предпослать основной части работы краткое «Введение», в котором даны сведения о познании вод древними народами.

Изложение ведется в хронологическом порядке. Однако в некоторых случаях, ради цельности представления о развитии той или иной проблемы, автор считал целесообразным выходить за рамки рассматриваемых периодов. По тем же вопросам, которые и до сих пор остаются не вполне ясными и даже спорными, в самом тексте или в сносках кратко излагаются современные взгляды.

ВВЕДЕНИЕ

Накопление знаний о воде, ее круговороте в природе происходило в процессе непосредственного общения человека с морями, озерами, реками. На заре истории человеческого общества реки, несомненно, имели огромное значение в его развитии.

Известно, что долины таких рек, как Тигр и Евфрат в Месопотамии, Инд и Ганг в Индии, Нил в Египте, Хуанхэ и Янцзыцзян в Китае, Днепр, Сыр-Дарья и Аму-Дарья на территории нашей страны, явились колыбелями наиболее древних человеческих культур.

Естественно, что человек, как только начал переходить к оседлому образу жизни, местами своей оседлости избирал прежде всего долины рек. Реки обеспечивали людей и скот водой. В реках ловили рыбу, а в прибрежных лесах люди собирали растительную пищу и занимались охотой.

Когда-то реки были почти единственными удобными путями сообщения между племенами, и начало использования рек в транспортных целях уходит в самую далекую глубь веков.

В поймах рек с их плодородной илистой почвой человек находил благоприятные условия для возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе и таких, которые нуждаются в искусственном орошении. Понятно, что поливное земледелие могло возникнуть лишь в результате длительного накопления практического опыта. Сначала люди должны были убедиться в том, что на землях, временно затопляемых естественными разливами рек, получается более высокий урожай. Распирение площадей искусственного орошения находилось в тесной зависимости от потребностей общества в продуктах питания и от совершенствования средств труда.

Наиболее древними народами, столкнувшимися с необходимостью вмешательства в естественный режим рек с целью изменения его применительно к нуждам земледелия, были народы Месопотамии.

Уже первые общины, образовавшиеся в южных болотистых районах Междуречья еще за 5 тысяч лет до н. э., делали боль-

шие насыпи для устройства своих поселений и проводили осушительные и оросительные работы. Позднее, в IV—III вв. до н. э., когда образовались рабовладельческие государства Шумера и Аккада, проводились уже крупные работы по регулированию рек Тигра и Евфрата и устройству больших каналов, имевших общегосударственное значение и использовавшихся для орошения и судоходства. О системе одного из каналов, построенного шесть тысяч лет тому назад, американскими учеными недавно были добыты сведения, свидетельствующие о сложности системы и большом протяжении канала ¹.

Ценнейшим документом, из которого мы узнаем о широком развитии гидротехнических работ в древней Вавилонии, является дошедший до нас кодекс царя Хаммурапи (1792—1750 гг. до н. э.), написанный на базальтовом столбе, найденном в 1901 г. французским ученым де Морганом ².

К древнейшим временам относится зарождение земледельческой культуры, основанной на орошении, в Египте. Экономическая жизнь Египта находилась в непосредственной зависимости от Нила, разливы которого, орошая долину и покрывая ее слоем плодородного ила, всецело определяли в этой жаркой стране урожай сельскохозяйственных культур.

Греческий историк Геродот, посетивший Египет около 460 г. до н. э., отмечая исключительное значение Нила для земледелия, пишет, что «река наводняет и орошает поля, а оросивши, вступает в свои берега; тогда каждый засеивает свое поле и пускает на него свиней, которые и втаптывают семена в землю» ³.

Имеются свидетельства того, что еще в IV тысячелетии до н. э. египтяне устраивали дамбы для регулирования уровня Нила. К тому же времени относятся и открытые французской экспедицией в начале XIX в. первые ниломеры — устройства для наблюдения за колебанием уровня воды в реке. В книге английского инженера Г. Херста «Нил» дается описание построенного около 711 г. н. э. водомера на острове Рода (Каир). «Это, — пишет Херст, — мраморная колонна, установленная в центре большого квадратного колодца, на стенах которого нанесены арабские надписи религиозного содержания. Колодец посредством галерей сообщается с рекой, а сверху в него спускается лестница, по которой наблюдатель может сойти до уровня воды и прочесть отметку на рейке, высеченной на колонне» ⁴.

До нашего времени дошли сводки уровней, зарегистрированных описанным ниломером, начиная с 860 г. «В мире нет, — отмечает Херст, — других последовательных рядов данных,

¹ «Science», 1954, August 20, vol. 120, N 3221, p. 293.

² В. И. Авдиев. История древнего Востока. М., 1948, стр. 75.

³ Там же, стр. 118.

⁴ Г. Херст. Нил. М., 1954, стр. 261.

относящихся к метеорологическим явлениям, которые можно было бы сравнить с этими сводками уровней Нила»⁵.

С целью регулирования уровня Нила египтянами во II тысячелетии до н. э. было создано в Фаюмском оазисе крупное водохранилище (Меридово озеро), для наполнения и опорожнения которого были устроены два параллельных канала, соединявших водохранилище с Нилом.

В древнем Египте началось применение водоподъемных устройств, в частности «шадуфа» («журавля»), основанного на принципе рычага. Его изображение имеется на стенах гробницы в Фивах, относящейся примерно к 1250 г. до н. э.

Стремясь разгадать причину разливов Нила, египетские фараоны пытались отыскать его истоки. «Загадка» Нила, о которой Гораций говорит: «Дивится Нил, что место рождения вод таит»⁶, была разгадана лишь в XVI в., когда было установлено, что причиной разливов Нила являются дожди, выпадающие в Абиссинском нагорье.

Несомненно, что к временам глубокой древности восходит сознательное вмешательство человека в естественный режим рек и, следовательно, накопление гидрологических сведений в Китае и в Индии, где, как и в Месопотамии и Египте, земледелие не могло развиваться успешно без искусственного орошения.

Китайский народ, создавая первые очаги земледельческой культуры в области среднего и нижнего течения Хуанхэ, наряду с устройством сети ирригационных каналов, должен был вести упорную организованную борьбу с губительными разливами этой реки, часто выходявшей из берегов. Из века в век население Китая производило огромные работы по возведению оградительных дамб вдоль берегов рек и устройству каналов для отвода полей вод и наносов и орошения прилегающих к рекам земель. Но как ни велики были устраиваемые дамбы, они не могли по-настоящему обуздать стихийных разливов рек, надежно противостоять напору катастрофически высоких вод во время половодий. Оградительные насыпи вновь и вновь прорывались. Так, относительно Хуанхэ известно, что с 602 г. до н. э. (когда появились первые письменные сведения об этой реке) до 1938 г. она в своем нижнем течении прорывала дамбы в среднем четыре раза в каждые десять лет⁷.

Известно также, что в течение этого времени Хуанхэ пять раз изменяла направление своего русла в нижней части, пере-

⁵ Г. Херст. Нил. М., 1954, стр. 240.

⁶ Гораций. Полн. собр. соч. М., 1936, стр. 168.

⁷ Ф. Я. Нестерук. Водное хозяйство Китая. В сб.: «Из истории науки и техники Китая». М., 1955, стр. 21.

мещааясь то с севера на юг, то обратно на пространстве шириной до 800 км.

Памятником титанического труда миллионов людей является построенный в VI в. до н. э.— XIII в. н. э. Великий канал, проходящий между устьевыми участками всех крупных рек Китая на протяжении около 1800 км.

Многовековое географическое изучение страны, ее колоссальных водных ресурсов, исключительно богатый опыт водохозяйственного строительства нашли отражение в многочисленных трудах китайских историков, географов и гидротехников. Лучшим сочинением, трактующим вопросы гидрологии древнего Китая, считаются «Комментарии к запискам о реках» (в 40 томах), написанные в начале VI в. Ли Даю-юанем, о котором профессор Сунь Цзи-чжи говорит: «Используя богатую литературу и материалы исследований, он детально описал географию различных речных бассейнов... Читая эту книгу, мы не можем не восхищаться правдивостью и зоркой наблюдательностью автора»⁸.

Относительно гидрологических представлений китайских гидротехников интересно отметить, что еще в III тысячелетии до н. э. на работах по регулированию рек они применяли методы, основанные на использовании силы самих рек, т. е. на знании динамических особенностей речных потоков и их взаимодействия с руслом⁹.

За много веков до н. э. началось применение ирригации в Индии. От глубокой древности до наших дней сохранились, например, колодцы для орошения полей в районе Мадраса. В очень далекие времена применялась практика пропуска паводковых вод из р. Инда для ирригации долины Синд в западной части Пенджаба. В пригородных округах Северной Индии были обнаружены следы древних ирригационных каналов. Обнаружено также много остатков больших водохранилищ и других гидротехнических сооружений в Бурме.

История материальной культуры с несомненностью свидетельствует о древнем происхождении поливного земледелия в плодородных оазисах Средней Азии, на территории нынешних советских республик. Зачатки земледельческой культуры, основанной на искусственном орошении, по-видимому, восходят здесь к не менее далеким временам, чем в Китае и Индии, но значительное развитие ирригация в долинах крупных рек Средней Азии — Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи, Мургаба, Зеравшана и других — получила со времени перехода народов этих районов,

⁸ Сунь Цзи-чжи. Краткий обзор развития географической науки в Китае. «Известия АН СССР», серия геогр., 1955, № 5.

⁹ Ф. Я. Нестерук. Указ. соч., стр. 12.

примерно в середине I тысячелетия до н. э., к рабовладельческой строю с централизованной государственной властью.

Высокий уровень ирригационной техники был достигнут во многих районах Средней Азии в III—VII вв., в эпоху Сасанидов, когда, как отмечает В. В. Бартольд, к народам передней Азии перешла первенствующая роль в мировой торговле, остававшаяся за ними до открытия Америки (Колумб, 1492) и морского пути в Индию (Васко да Гама, 1498) и Китай, т. е. в течение более 1000 лет. Благодаря широкому общению с другими странами, среднеазиатские государства перенимали и использовали многие достижения других народов как на востоке — в Индии и Китае, так и на западе — в Византии, преемнице культуры Греции и Рима, в том числе достижения в области ирригационного строительства. Ирригационная техника в некоторых оазисах достигла ко времени арабского завоевания Средней Азии (VII—VIII вв.) такого высокого уровня развития, что арабы вывозили мургабских «знатоков воды» на работы по строительству оросительной сети в окрестностях Мекки¹⁰.

К этому и последующему времени, вплоть до XIII в., т. е. до начала монгольского нашествия, относится строительство в Средней Азии крупных ирригационных каналов, расцвет оазисов, развитие городской жизни, особенно в VIII—X вв.¹¹

Из оросительных систем государства Саманидов (874—1005), образовавшегося после распада Арабского халифата, наиболее совершенной была система Мургаба. Большой интерес представляет описание водомерного поста на одной из мургабских плотин недалеко от Мерва (ныне г. Мары), оставленное арабским географом и путешественником X в. Макдиси. Из его рассказа, в изложении В. В. Бартольда, мы узнаем, что на плотине «была водружена доска для измерения уровня воды с мелкими делениями по длине доски вдоль всей ее ширины, причем одно деление отстояло от другого всего на одну ша'иру (около 3 см). Если уровень воды (очевидно, во время половодья) доходил до 60 делений (1,8 м), то предвиделся урожай; если вода поднималась всего на 6 делений (18 см), то ожидался голодный год»¹². Подобный водомер был установлен также недалеко от города, где вода распределялась по каналам, разветвлявшимся по улицам Мерва. Ссылаясь на другого автора, В. В. Бартольд отмечает большую тщательность в распределении воды и приводит следующие сведения относительно организации гидрологической службы и управления системой: «Во главе всей этой сложной системы стоял особый сановник, положение которого

¹⁰ В. В. Бартольд. К истории орошения Туркестана. СПб., 1914, стр. 13.

¹¹ Б. Д. Греков. Киевская Русь. М., 1953, стр. 435.

¹² В. В. Бартольд. Указ. соч., стр. 53.

было выше положения «заведующего налогами»; ему, очевидно, был подчинен «диван реки»; приставленное к этому лицо «ежечасно» (очевидно, во время половодья) отправляло в диван по почте спешных гонцов с извещением о высоте уровня реки, и оттуда рассылались инструкции, для распределения воды, заведующим отдельными протоками. Число всех лиц, приставленных к реке и получавших за это содержание, доходило до 10 000»¹³.

Благодаря практическому опыту использования водных потоков из большой массы людей, участвовавших в водохозяйственных мероприятиях, выдвигались подлинны мастера ирригационного дела, «знатоки воды», обладавшие определенными гидрологическими познаниями.

Имеются сведения, что опыт среднеазиатских народов, применявших орошение полей, оказал влияние на развитие земледельческой культуры на юге Сибири и в Забайкалье. Доказательством существования в древности поливного земледелия в Минусинской степи являются остатки некогда построенной здесь ирригационной системы. Протяженность основного канала системы составляет более 40 км. Он проходит по вершинам холмов, имея небольшой уклон. Д. Клеменец, описавший эту систему, говорит, что «подобные сооружения были результатом громадной коллективной работы целого племени, веденной по одному общему плану»¹⁴.

Издавна существовали разнообразные мирные и военные отношения между Средней Азией и Русью, особенно оживленные во время Арабского халифата, когда торговля и культурное общение по Волге захватили в свою орбиту пространство от Каспия до Балтики.

Относительно нашей нынешней территории, находившейся за пределами будущего русского государства, следует еще сказать, что в XIV—VIII вв. до н. э. в Закавказье существовало сильное государство Урарту со столицей Тупшой у оз. Ван (Армения). Сохранившиеся до наших дней гидротехнические сооружения урартов говорят о том, что земледелие в этом древнем царстве в значительной степени основывалось на искусственном орошении. Урарты использовали водные потоки и как источники энергии, устраивая на каналах водяные мельницы. Один из жерновов урартской водяной мельницы хранится в музее Грузии в Тбилиси.

В истории цивилизации, как известно, неизгладимый след оставили древние народы Греции, Рима и Византии — государств, последовательно игравших на протяжении двух тыся-

¹³ Там же, стр. 54.

¹⁴ Д. Клеменец. Древности Минусинского музея. Томск, 1886, стр. 45.

челетий, начиная с VIII в. до н. э., т. е. после падения Египта, первенствующую роль в бассейне Средиземного моря и оказавших огромное влияние на другие страны.

Еще в XIV—XII вв. до н. э. в Греции строились большие ирригационные каналы, получившие вместе с другими гигантскими сооружениями название «циклопических», т. е. построенных, согласно мифологическому вымыслу, одноглазыми великанами — циклопами. И в последующие века земледелие в Греции в значительной степени было поливным. В поэме Гесиода «Труды и дни», относящейся к концу VIII в. до н. э., наряду с другими советами земледельцам, говорится относительно необходимости поддержания в исправности ирригационной сети. Большое распространение получило в древней Греции строительство водопроводов для снабжения городов. Только в одних Афинах в пору их наибольшего подъема насчитывалось 18 водопроводов, питавших город речной и подземной водой.

Выдающимся достижением периода эллинизма (конец IV — начало I в. до н. э.) явилось изобретение таких водоподъемных устройств, как архимедов винт и водочерпальное колесо с ковшами. Согласно утверждению некоторых авторов, к этому же времени относится и изобретение водяной мельницы. Но, по видимому, это не так. По крайней мере, как об этом только что говорилось, водяная мельница существовала уже в Урартском государстве. Следует, впрочем, заметить, что широкого распространения водяная мельница раньше XIII—XIV вв. не имела.

Греки создали немало сочинений, в которых нашли отражение их знания, связанные с вопросами водоиспользования. Так, в трактате Теофраста (372—287 гг. до н. э.) по естественности имеются высказывания об устройстве запруд и плотин и о водных свойствах почвы. Античная Греция дала миру знаменитого Архимеда (287—212 гг. до н. э.), сочинение которого «О плавающих телах» явилось первым научным трактатом по гидравлике.

Хотя в распоряжении греков находились еще совершенно незначительные опытные данные, но и то, чем они располагали, позволило им сделать ряд интересных натурфилософских обобщений. Как известно, в те времена еще не существовало разделения науки на частные области знания, и философия вместе с естествознанием составляла единую науку — натурфилософию. Крупнейшим натурфилософом Греции VI в. до н. э. был Фалес Милетский. Он первым высказал монистический взгляд на природу, считая, что первопричиной всего существующего является вода. Известно, что еще древние шумерийцы и аккадцы, а также китайцы, индийцы и египтяне поклонялись воде как первоначальной стихии, в которой, как они полагали, заключено начало жизни; но культ воды у этих народов носил религиозно-мифо-

логический характер. Фалес же — материалист. В своем ответе на вопрос о происхождении мира он отверг всякую мифологию. У Фалеса мы находим попытку объяснения круговорота воды в природе. Он высказал мнение, что морская вода, на которой плавает Земля, силой ветра вгоняется в земные недра, поднимается по горным породам вверх, образует в горах источники и по рекам стекает в море.

Ученик Фалеса Анаксимандр (первая половина VI в. до н. э.) также признавал существование первовещества, из которого под влиянием тепла и холода образуется влага, а из нее, в свою очередь, выделяются земля, воздух и огонь. Ему принадлежит первое изображение (на медной доске) всеобщей карты земли с морями и реками.

Отметим, что последователь милетской школы Анаксагор (V в. до н. э.) приблизительно правильно объяснял нильские разливы.

Вода, наряду с землей, воздухом и огнем, занимала перво-степенное место в натурфилософских построениях и других древнегреческих ученых. Над явлением круговорота воды на Земле размышляли создатель атомистического учения философ-материалист Демокрит (около 460—370 гг. до н. э.) и родоначальник идеалистической философии Платон (427—347 гг. до н. э.). Последний считал, что вода из океана через жерла, из которых самым большим является Тартар, проникает в земные недра и оттуда выходит на поверхность для питания рек. Но он допускал также происхождение мелких источников от ливней.

Стройное натурфилософское учение создал величайший мыслитель древности Аристотель (384—322 гг. до н. э.). Все предметы и явления природы он рассматривал как результат взаимодействия четырех главных веществ — огня, воздуха, воды и земли, которые сами представляют собой различные формы проявления единого начала. По Аристотелю, земля состоит из твердого шара, заключающего в себе также и водную стихию, и внешней паровой оболочки, в состав которой входят воздух и огонь, причем эта атмосферная оболочка то пополняется влагой за счет испарения с морей и океанов, происходящего под действием солнечной теплоты, то выделяет осадки.

Надземную оболочку Аристотель представлял в виде двух слоев. Внутреннюю часть оболочки составляют влажные паробразные газы, которые поднимаются не выше самых высоких гор; внешний же слой оболочки состоит из сухих дымовидных испарений. Все метеорологические явления Аристотель объяснял движениями внутри указанных слоев. По Аристотелю, ключи, питающие реки, своим происхождением обязаны атмосфер-

ным осадкам, которые впитываются горами и образуют подземные источники. Он считал также, что подземные воды образуются за счет внутренних испарений, которые сгущаются в холодных пустотах, пронизывающих земные недра. Аристотель ближе других ученых его времени подошел к правильному пониманию круговорота воды в природе.

Едва ли не общепризнанным является взгляд, что римляне с их практицизмом не внесли в обобщения греческих ученых ничего существенного, что явилось бы серьезным обогащением натурфилософской мысли их предшественников. Однако бесспорно то, что в развитии гидротехники, особенно ирригации и городского водоснабжения, римляне в период расцвета Рима достигли больших успехов.

Сохранившиеся до нашего времени акведуки свидетельствуют о весьма высоком строительном искусстве римских инженеров. Крупнейшим римским гидротехником I в. до н. э. был Марк Витрувий Поллион, автор обширного труда по строительному делу «Об архитектуре». Он, в противовес своему соотечественнику Титу Лукрецию Кару (99—55 гг. до н. э.), разделявшему взгляд на круговорот воды натурфилософов доаристотелевского времени, высказал, в согласии с великим греческим ученым, мнение, что подземные воды образуются благодаря просачиванию в землю дождевой и снеговой воды (инфильтрационная теория). Марк Витрувий полагал, что дождевые воды, просачиваясь сквозь рыхлую землю, встречают водонепроницаемые слои, по которым затем выходят на поверхность в виде ключей.

Выдающимся специалистом в области гидротехники, жившим и работавшим в Риме в I в., был Фронтин, автор сочинения «О водопроводах».

В Западной Европе в древности, еще за 2 тысячи лет до н. э., крупные гидротехнические работы, связанные с защитой территории от морских разливов, были произведены в Голландии.

Приведенные выше исторические сведения показывают, что уже древние народы, наряду с пассивным использованием рек, применяли методы активного вмешательства в их естественный быт с целью изменения его сообразно со своими хозяйственными нуждами.

В Месопотамии и Египте, Китае и Индии, Средней Азии и Закавказье, Греции и Риме в широких размерах велось строительство оросительных каналов.

Прогноз урожаев по уровню воды в реках (в Египте и Средней Азии), а также учет и распределение поливных вод вызвали необходимость организации водомерных наблюдений, т. е. появление элементов гидрометрии.

Свойства рек познавались человеком также в процессе борьбы с теми бедствиями, которые приносили реки во время больших разливов (особенно в Китае).

Вода, бывшая у народов глубокой древности предметом культа, в натурфилософии древней Греции играла роль главнейшего или одного из главных начал природы.

Мыслители древнего мира пытались понять происхождение рек и круговорот воды в природе. Аристотель высказал взгляды, наиболее близко отвечающие правильному пониманию круговорота воды. В согласии с его представлениями римский гидротехник Марк Витрувий в конце прошлой эры развил теорию инфильтрационного происхождения подземных вод.

НАКОПЛЕНИЕ СВЕДЕНИЙ ПО ГИДРОГРАФИИ НА РУСИ ДО КОНЦА XVII в.

Использование рек в транспортных целях.— Общенье славян с античным миром.— Торговые связи по Волге.— Путь «из варяг в греки».— Гидрография Руси в «Повести временных лет».— Освоение северных рек жителями Великого Новгорода.— Изучение рек землепроходцами. Путешествие Н. Спафария.— Гидрографические чертежи.— «Книга Большому Чертежу».— Первые гидрометеорологические наблюдения.— Использование водной энергии (водяные мельницы).— Устройство водопроводов.— Гидротехнические работы и развитие знаний о воде в Западной Европе.— Краткие выводы.

Установлено, что первые государственные образования на Руси относятся примерно к VI—VII вв. Однако освоение человеком пространств нашей Родины, на которых позже возникло и консолидировалось Русское государство, восходит к временам значительно более древним. Открытые археологами человеческие стоянки неолитической культуры в лесной полосе СССР существовали за три — пять и более тысяч лет до н. э. Так, например, Льяловская стоянка человека неолитического периода, обнаруженная на берегу р. Клязьмы под Москвой, относится к началу III тысячелетия до н. э.

Излюбленными местами поселений наших предков являлись места слияния рек, где первобытный человек оказывался лучше защищенным от хищных зверей и враждебных племен.

Как правило, земледелие в первоначальных очагах культуры прославяна в искусственном орошении не нуждалось. Поэтому накопление знаний о воде на Руси, в отличие от районов Средней Азии, связано не с ирригацией, а с использованием рек в транспортных целях. Реки, таким образом, являлись не только барьерами, но и путями связи между племенами. О древности использования народами нашей страны речной сети говорят многие факты. Сошлемся хотя бы на следующие. При раскопках стоянок человека неолитического периода были обнаружены

несомненные следы меновой торговли на речных путях, например на Волге. В 1954 г. советская археология обогатилась уникальной находкой. Жителями села Щучьего Лискинского района Воронежской области был обнаружен в обрыве речного берега древний челн. Челн оказался целым и довольно большого размера — 7,55 м. Он выдолблен из толстого массивного дуба орудием из камня. Вместимость челна 10—18 человек. До этого была найдена в XIX в. при прорытии Ладожского канала лишь часть кормы от челна. С помощью таких челнов поддерживалась связь между древними племенами.

Именно благодаря общению прежде всего по речным путям племена, населявшие один и тот же речной бассейн, но разделенные почти непроходимыми лесами, постепенно объединились.

Н. П. Загоскин, автор обстоятельного труда «Русские водные пути и судовое дело в допетровской России» (1909), отмечает, что в VI в., в эпоху, когда история впервые застаёт славян в качестве уже вполне обособившегося этнологического элемента, они стояли выше всех других народов в искусстве использования рек. Он же указывает на то, что старославянское слово «дорога» (сербское — драга) у южных славян означает путь, проложенный вдоль воды.

Отдельные народности славянского происхождения, занимавшие обширную территорию, поддерживали между собой почти непрерывную связь через системы рек Волги, Дона, Днепра, Западной Двины и др. Основной массив территории охватывался с востока и северо-востока системой Волги, соединявшей его с отдаленными странами Азии, с запада и юга — системой Днепра, соединявшей эту территорию с Передней Азией и Византией, наконец, с северо-запада — системой Западной Двины и озер. Все эти водные системы вплотную подходили одна к другой на северо-западе, в районе Ладожского и Онежского озер, поэтому сообщение по всем направлениям через небольшие сучопутные волоки не представляло больших затруднений.

Накопление гидрографических знаний на Руси происходило по мере распространения славян из первоначальных очагов их поселения по речным системам вплоть до морских берегов.

Многочисленные реки русской равнины явились путями выхода славян во внешний мир. В. В. Мавродин справедливо замечает: «Для нас не будет странным это поступательное движение славян к морям, если мы учтем, что древнейшие очаги этногенеза славян расположены в верховьях Эльбы (Лабы), Вислы, Днепра, Западной Двины, Оки, Волги, Днестра, Западного Буга. Всякие многочисленные и сильные племена, владеющие истоками рек, расселяются вниз по течению и стремятся к овладению их устьями и прилегающими к ним берегами моря.

А славяне были именно такими могущественными и многочисленными племенами»¹.

Еще к VIII в. до н. э. относится начало общения южных племен нашей страны с античным миром, когда между скифами и греческими поселениями на берегах Черного моря по рекам установились оживленные торговые сношения². Большое значение в торговле скифов с греками имели хлеб и рыба. Только одни Афины 2¹/₂ тысячи лет назад получали из Скифии через Ольвию, греческую колонию на берегу днепровского лимана, около 4 млн. пудов хлеба в год.

Общение между славянской и греко-римской культурами приобрело широкое развитие в более позднее время, в период господства Византии (IV—XIII вв.), особенно после появления на юге нашей страны первых государственных образований славянства.

С давних времен оживленные связи славян с населением прибалтийских и прикаспийских районов развивались по волжскому водному пути. По Волге, начиная с VIII в., были установлены продолжавшиеся в течение двух веков особенно энергичные сношения с народами Востока, входившими в состав Арабского халифата. Путь из Азии и от Каспийского моря шел по Волге, затем волоком до Ладоги и Западной Двины и по Балтийскому морю до крайнего западного пункта арабской торговли — острова Готланд на Балтийском море.

В VIII—X вв. русские купцы со своими товарами спускались по Волге до столицы Хазарского царства Итиль. Арабский писатель Ибн-Хардадбе рассказывает, что русские привозят по Волге меха выдры, черных лисиц и мечи, что они плавают к морю и «выходят на любой им берег». Другим конечным пунктом, где сходились восточные пути арабской торговли с западнонорманской, явился крайний северо-восток — царство Биармия по берегам Северной Двины. Сюда приезжали купцы из области булгар.

Другим весьма важным речным путем, ставшим особенно выгодным для славян с IX в., был путь из Балтийского моря в Черное, так называемый путь «из варяг в греки».

Разложение родового строя славянских народностей привело в IX в., минуя рабовладельческую формацию, к возникновению на Руси феодальных отношений и образованию русского государства — Киевской Руси, объединившей под своей властью в середине X в. все русские земли и остававшейся единым русским государством до середины XI в., когда она распалась на ряд самостоятельных княжеств. Тяжелым последствием раз-

¹ В. В. Мавродин. Начало мореходства на Руси. М., 1949, стр. 7.

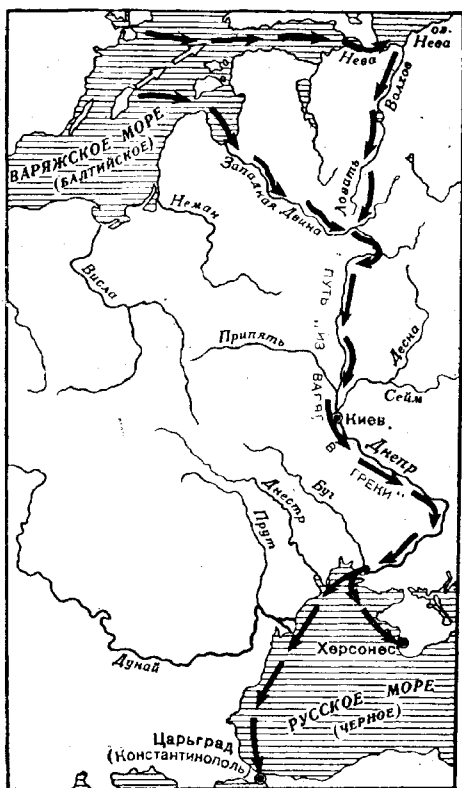
² Э. Мейер. Экономическое развитие древнего мира. М., 1910, стр. 27.

дробления Руси на удельные княжества явилось, как известно, нашествие на русские земли организованных монголо-татарских орд и установление их ига над Русью (1237 г.).

Киевская Русь IX—X вв. была государством, в экономике которого основную роль играло развитие земледелия. Животноводство, охота, собирание меда диких пчел, рыболовство, добыча соли также давали продукты для обмена и торговли.

Вместе с тем, благодаря своему географическому положению, Киевское государство, владевшее ключевыми позициями водного пути между Балтийским и Черным морями — Киевом и Новгородом, на протяжении почти двух столетий играло важную посредническую роль в торговле между Европой и Византией.

Описание пути «из варяг в греки», имевшего столь важное значение в истории русского народа, мы находим в драгоценном памятнике русской древности «Повести временных лет» (летописи Нестора, относящейся к 1114—1116 гг.), в которой наш первый летописец рассказывает о главнейших событиях, происшедших на Руси в 852—1117 гг., начиная с того, «откуда пошла русская земля». Вот что говорит древний автор о знаменитом водном пути: «Когда же поляне (славяне, расселившиеся по Днепру.— И. Ф.) жили отдельно по горам... тут был путь из Варяг в Греки и из Грек по Днепру, а в верховьях Днепра — волок до Ловати, а по Ловати входят в Ильмень озеро великое; из этого же озера вытекает Волхов и впадает в озеро великое Нево, и устье того озера впадает в море Варяжское... Днепр же вытекает из Оковского леса и течет на юг, а Двина



Путь «из варяг в греки»

из того же леса течет, а направляется на север и впадает в море Варяжское»³.

Описание речной сети свидетельствует о довольно обширных гидрографических сведениях летописца. Ему хорошо известны Днепр и Волга, он упоминает о Дунае и Днестре, Висле с Бугом и Наревом, Сане, Ловати, Волхове. Называются им также реки Луга, Мста и притоки Волги Медведица, Шексна, Ока.

Еще Ходаковский⁴, автор первого очерка о водных путях в древней России, обратил внимание на неточность указания Нестора о речном пути между Новгородом и Киевом, именно на то, что он называет лишь один волок — между Ловатью и Днепром, протяжением около 130 верст, как бы забывая о Западной Двине, верховья которой находятся между указанными реками. Ходаковский, а позже и Загоскин, считают наиболее вероятным, что путь «из варяг в греки» имел два тридцативерстных волока: 1) между притоком Ловати Сережем и притоком Западной Двины Торопой, 2) между оз. Касплинским, соединяющимся с Западной Двиной рекою Касплей, и Днепром у г. Смоленска⁵. Н. П. Загоскин подчеркивает также важное значение для того времени речного пути, который шел от Смоленска не к Новгороду, на север, а вниз по Западной Двине, на запад, в Рижский залив, и о котором летописец лишь вскользь говорит, что из Руси можно идти в «варяги» и по Двине.

Столь же рано, как и по Днепру, было освоено плавание по Днестру и Дону, также имевшим большое значение в системе наших древних путей сообщения. Через Дон торговые люди Киевской Руси без особых затруднений переходили из Азовского моря или восточных притоков Днепра в волжскую систему и в Каспийское море.

Начало изучения наших северных рек связано с предприимчивостью жителей другого древнего русского государства — Великого Новгорода, ставшего с начала XII в. самостоятельным княжеством и объединившего вокруг себя большую территорию. Пути обширной торговли новгородцев включали в себя многие реки. По Днепру и Волге новгородцы привозили хлеб, в котором они испытывали весьма большую нужду. Интересно отметить, что на путях выхода новгородцев на Волгу по рекам Мсте, Сяси и Вытегре впоследствии были построены

³ Повесть временных лет. М.—Л., 1950, стр. 207.

⁴ Ходаковский. Пути сообщения в древней России. «Русский исторический сборник», т. 1, кн. 1, М., 1837.

⁵ В статье «Геофизические условия северо-западной части пути «из варяг в греки» В. М. Мультиановский утверждает, что «судовой ход был только по рекам Днепру и Ловати, а волок противопоставлен этому способу передвижения потому, что грузы перевозились гужем» («Записки Государственного гидрологического института», т. X. Л., 1933, стр. 50).

известные водные системы Вышневолоцкая, Тихвинская и Мариинская. Это обстоятельство красноречиво свидетельствует об умении новгородцев выбирать наиболее рациональные варианты водных путей, что, конечно, могло явиться только результатом их определенных гидрографических познаний.

Несомненны энергичные сношения Новгорода с северо-востоком, именно с бассейнами рек Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры, вплоть до берегов Ледовитого океана. Видный русский историк И. Д. Беляев говорит, что уже в XI и XII вв. русские «так далеко заходили на север, как в то время не заходил ни один европейский народ... и на столько знали глубокий север Азии, на сколько он не был известен никому в Европе даже несколько веков позднее»⁶. Сюда отважных русских людей привлекал рыбный и пушной промыслы, а также добыча соли. Не позже второй половины XIV в. русским стали известны низовья Оби.

В конце XV — начале XVI в., после свержения в 1480 г. монголо-татарского ига, тяжелым бременем лежавшего на русском народе почти 250 лет, происходит быстрый процесс консолидации Русского государства, расширяются его границы. В середине XVI в. русские полностью, от истоков до устья, овладевают Волгой, выходят к Уралу и в Западную Сибирь. Конечно, движение русских по Волге не прекращалось и во время монголо-татарского господства, и именно к Волге и Дону, как отмечает Н. П. Загоскин, переходит в этот период бывшее первенство Днепра в системе торговых путей России. Однако плавание русских в низовьях Волги было небезопасным.

В 1466 г. по Волге от Твери началось знаменитое путешествие Афанасия Никитина, первого европейца, побывавшего в Индии.

В замечательном сочинении А. Никитина «Хождение за три моря» содержатся исключительно ценные сведения о природе стран и быте народов, увиденных им во время шестилетнего путешествия (возвращаясь на родину в 1472 г., А. Никитин умер недалеко от Смоленска).

Одним из свидетельств того, что в Московском государстве уже в начале XVI в. имелось немало сведений по гидрографии северной окраины страны, является изданная в 1525 г. в Риме книга Павла Иовия — «Книга о посольстве Василия, великого государя Московского, к папе Клименту VII, в которой с особой достоверностью описано положение страны, неизвестное древним, религия и обычаи народа». В этой книге, написанной со слов русского посла Дмитрия Герасимова, говорится: «...достаточно хорошо известно, что Двина, увлекая бесчисленные

⁶ И. Д. Беляев. О географических сведениях в древней России. «Записки Русского географического общества», кн. VI. СПб., 1852, стр. 11.

реки, несется в стремительном течении к северу и что море там имеет такое огромное протяжение, что по весьма вероятному предположению, держась правого берега, оттуда можно добраться на кораблях до страны Китая, если в промежутке не встретится какой-нибудь земли»⁷. Из этих слов мы видим, между прочим, что уже тогда передовыми русскими людьми ставился вопрос о северном морском пути.

Но все же изучение наших северных рек, особенно рек Сибири, до второй половины XVI в. происходило сравнительно медленно. Начало энергичного продвижения русских на северо-восток страны относится к последней четверти XVI в. Особенно важным был поход в Сибирь Ермака. Его путь шел по Каме, затем по Чусовой во владения известных промышленников Строгановых. С осени 1581 г. Ермак начал со своей дружиной отважное продвижение по рекам в глубь Западной Сибири, и в 1582 г., достигнув Иртыша, покорила Сибирское царство казахского князя Кучума. Поход Ермака положил начало быстрому овладению Сибирью. Основанием в 1628 г. Красноярска завершается освоение большей части Енисея, а вскоре русские уже выходят к Ангаре, Байкалу и верховьям Лены. Во второй четверти XVII в. по широко разветвленной речной сети Сибири отдельные отряды русских землепроходцев достигают северных и восточных морских берегов. В 1633 г. тобольский казак Иван Ребров первым посетил реки Яну и Индигирку. В 1636 г., имея наказ осмотреть реки, впадающие в Северный Ледовитый океан, из Енисейска отправляется Елисей Буза. В 1640—1642 гг. по Яне и Индигирке далеко на север заходит Семен Дежнев. В 1643 г. он вместе с Михаилом Стадухиным спускается по Индигирке до самого океана. Семену Дежневу, выдающемуся русскому путешественнику, принадлежит честь открытия в 1648 г. пролива между Азией и Америкой, названного впоследствии Беринговым.

В 1639 г. казак Иван Москвитин первым из русских выходит к Великому океану и узнает о существовании Амура, не достигнув, однако, его. Три года спустя из Якутска по рекам Лене, Алдану, а затем по Зее в Амур во главе отряда из 130 человек вышел смелый и предприимчивый землепроходец Василий Поярков. Пройдя по Амуру до устья, он пустился в отважное плавание на север по Охотскому морю и через три года с группой в 40—50 человек вернулся по рекам Мае, Алдану и Лене в Якутск. В 1649—1653 гг. поход по Амуру совершил также Ерофей Хабаров. С именем Михаила Стадухина связано начало освоения в 1641—1651 гг. рек Колымы и Анадыря.

⁷ Л. С. Берг. Очерки по истории русских географических открытий. М., 1946, стр. 10.

Таким образом, гидрографическая сеть Сибири в большой мере была пройдена уже в первой половине XVII в. Быстрота, с какой происходило освоение великих сибирских речных систем, в значительной степени объясняется тем мощным переселенческим движением, которым сопровождалось закрепощение крестьян в центральных областях России.

Отважные русские землепроходцы всегда вызывали восхищение и изумление своей смелостью, способностью преодолевать любые трудности для достижения поставленной цели.

Из многочисленных характеристик их отважной деятельности приведем здесь слова, принадлежащие английскому ученому Дж. Бейкеру, автору изданной у нас в 1950 г. «Истории географических открытий и исследований». Он пишет: «Продвижение русских через Сибирь в течение XVII в. шло с ошеломляющей быстротой. Успех русских отчасти объясняется наличием таких удобных путей сообщения, какими являются речные системы Северной Азии, хотя преувеличивать значение этого фактора не следует, и если даже принять в расчет все природные преимущества, то все же на долю этого безвестного воинства достается такой подвиг, который навсегда останется памятником его мужеству и предприимчивости и равного которому не совершал никакой другой европейский народ»⁸.

Одно из наиболее ранних описаний рек Сибири мы находим в дневнике Николая Спафария. Он вел этот дневник во время своего путешествия в 1675 г. в Китай в качестве русского посла. В этом дневнике, опубликованном в 1882 г. под заглавием «Книга, а в ней писано путешествие царства Сибирского от города Тобольска и до самого рубежа государства Китайского...», дается описание «славные реки Иртыша», «славные и великие реки Оби» от истоков до устья, Лены, оз. Байкала с впадающими в него реками, Амура и других рек Сибири.

Интересно замечание автора в начале описания Иртыша: «Река Иртыш у древних и нынешних греческих и латинских земнописателей неведома есть, для того что вершины ее истечения из Камени и степью через непроходимых мест, где они и слухом не слышали, какие реки суть, и какие люди живут»⁹.

Описание Амура Спафарий посвятил отдельное сочинение, которое Г. И. Спасский впервые опубликовал в 1853 г. как произведение неизвестного автора, помещенное в одном из рукописных сборников XVIII в. под названием «Сказание о великой

⁸ Дж. Бейкер. История географических открытий и исследований. М., 1950, стр. 231.

⁹ Н. Спафарий. Книга, а в ней писано путешествие царства Сибирского от города Тобольска и до самого рубежа государства Китайского... «Записки Русского географического общества по отделению этнографии», т. X, вып. I. СПб., 1882, стр. 40.

реке Амуре, которая разграничила русское селение с Китайцы». В этом сказании даются сведения об Амуре и реках его бассейна. Амур величается «преименитой рекой», причем «величиною паче всех сибирских рек, но вяще всех на свете обретающихся». Интересно, что в «Сказании», как и в сочинении, посвященном описанию Китая, Спафарий определенно говорит о возможности выхода из Амура в море и плавании в Китай и Японию, т. е. о том, что повторно пришлось доказывать 175 лет спустя Г. И. Невельскому.

Большой интерес представляет описание Байкала, которому Спафарий посвящает в своем дневнике отдельную главу: «Описание Байкальского моря, кругом от устья реки Ангары, которая течет из Байкала и опять до устья той же Ангары». В этом описании Спафарий дает немало верных сведений об озере, ставшем к тому времени достоянием русских людей. «Длина его, — пишет Спафарий, — парусом бежати большим судном дней по десяти и по двенадцати и больше, какое погодье, а ширина его где шире, а где уже, менши суток не перебегают; а глубина его великая, потому что многажды мерили, сажень по сту и больше, а дна не сыщут, а то чинится оттого, что кругом Байкала везде лежат горы превысокие... лежит Байкал что в чаше окружен каменными горами будто стенами, и нигде же не отдыхает и не течет, опричь того, что от него течет Ангара река, а в нем большие реки и мелкие и иные многие в него впади...»¹⁰.

Но хотя уже в конце первой половины XVII в. русские вышли к морским берегам и на севере и на востоке, гидрография Сибири была известна тогда, конечно, лишь только в общих чертах, и об Азиатской части России нельзя сказать того, что бесспорно относительно ее Европейской части, которая в XVII в. была настолько известна, говорит Д. М. Лебедев, что на ней не могло быть сколько-нибудь значительных открытий «неведомых землиц»¹¹.

Гидрографическое изучение России нашло отражение на многих чертежах допетровского времени. Большинство этих чертежей до нас не дошло, но многие из них известны по описи Приказа тайных дел, произведенной в 1713 г. по указу Петра I. В этой описи находятся следующие чертежи, относящиеся к гидрографии России¹²:

Чертеж Хвалынского моря и к нему рекам и городам.

¹⁰ Н. Спафарий. Книга, а в ней писано путешествие..., стр. 119.

¹¹ Д. М. Лебедев. География в России петровского времени. М., 1950.

¹² Опись делам Приказа тайных дел 1713 г. «Записки Отделения русской и славянской археологии русского археологического общества», т. II. СПб., 1861.

Чертеж Двине реке и иным рекам, которые из нее вышли и где какие по ним угодья и города и монастыри.

Чертеж от Вологды Кубинскому озеру и рекам, на которых стоят Вага, Холмогоры и иные города и села и деревни.

Чертеж Азовскому и Черному морям и Азову и Черкасскому да Крыму и иным городам.

Чертеж озерам Ладожскому, Ильмени с иными озерами и реками.

У В. Н. Татищева¹³ имеется указание, что при царе Борисе Годунове (1598—1605) была «с довольным искусством» вычерчена карта с показанием на ней Аральского моря («его же Синим именуют»).

Хозяйственные и военные потребности централизованного русского государства, образовавшегося к середине XVI в., вызвали необходимость создания географической карты в масштабе всей страны. В 1552 г., такая карта была создана. Это знаменитый Большой Чертеж, в основу которого была положена гидрографическая сеть. В 1627 г. было сделано описание Большого Чертежа, известное под названием «Книги Большому Чертежу» — первой русской систематизированной географии, которая с полным основанием считается также и первым сочинением, обобщающим знания по гидрографии всей нашей страны в конце первой четверти XVII в. Видный русский публицист и общественный деятель Н. И. Новиков, впервые издавший в 1773 г. «Книгу Большому Чертежу», учитывая преобладание в ней именно гидрографических сведений, назвал ее: «Древняя Российская гидрография, содержащая описание Московского государства рек, протоков, озер, кладязей, и какие по ним города и урочища, и на каком оные расстоянии».

Впервые на существование «Книги Большому Чертежу» было указано В. Н. Татищевым. В своей «Истории Российской» он пишет, что в 1552 г. Иван Грозный «земли велел измерить и чертеж государства сделать», которого нигде не обнаружено, «токмо книга, именованная большой чертеж осталась»¹⁴.

Во вступлении к «Книге Большому Чертежу» говорится, что она составлена в 1627 г. по указу царя Михаила Федоровича. При этом, поскольку прежний чертеж «избился весь и развалился», был составлен новый «чертеж всему Московскому государству по все окрестные государства», точнее — два

¹³ В. Н. Татищев. История Российская с самых древнейших времен, кн. 1. М., 1769, стр. 506.

¹⁴ Там же, стр. 506. Источника, на основании которого устанавливается дата распоряжения Ивана Грозного, В. Н. Татищев не указывает. Составление самого чертежа Ф. А. Шибанов («Большой чертеж» или первая оригинальная карта Московского государства». «Вестник Ленинградского университета», 1947, № 5) относит примерно к 1570 г.; в 1600—1601 гг. чертеж был составлен вновь.

чертежа: копия старого, надо полагать, уточненная на основе накопившихся за несколько десятков лет новых сведений по географии и гидрографии страны, и дополнительный чертеж «Полю до Перекопи». Предполагается, что как основной, так и дополнительный чертежи имели размер 3×3 аршина. «Книга Большому Чертежу» и являлась объяснительным текстом к указанным двум картам. Ни первоначальный чертеж, ни его копии 1600—1601 и 1627 гг. не сохранились. Относительно дополнительного чертежа есть предположение¹⁵, что им является «Чертеж украинским и черкасским городам от Москвы до Крима», найденный (в копии) Л. С. Багровым в архиве в Стокгольме.

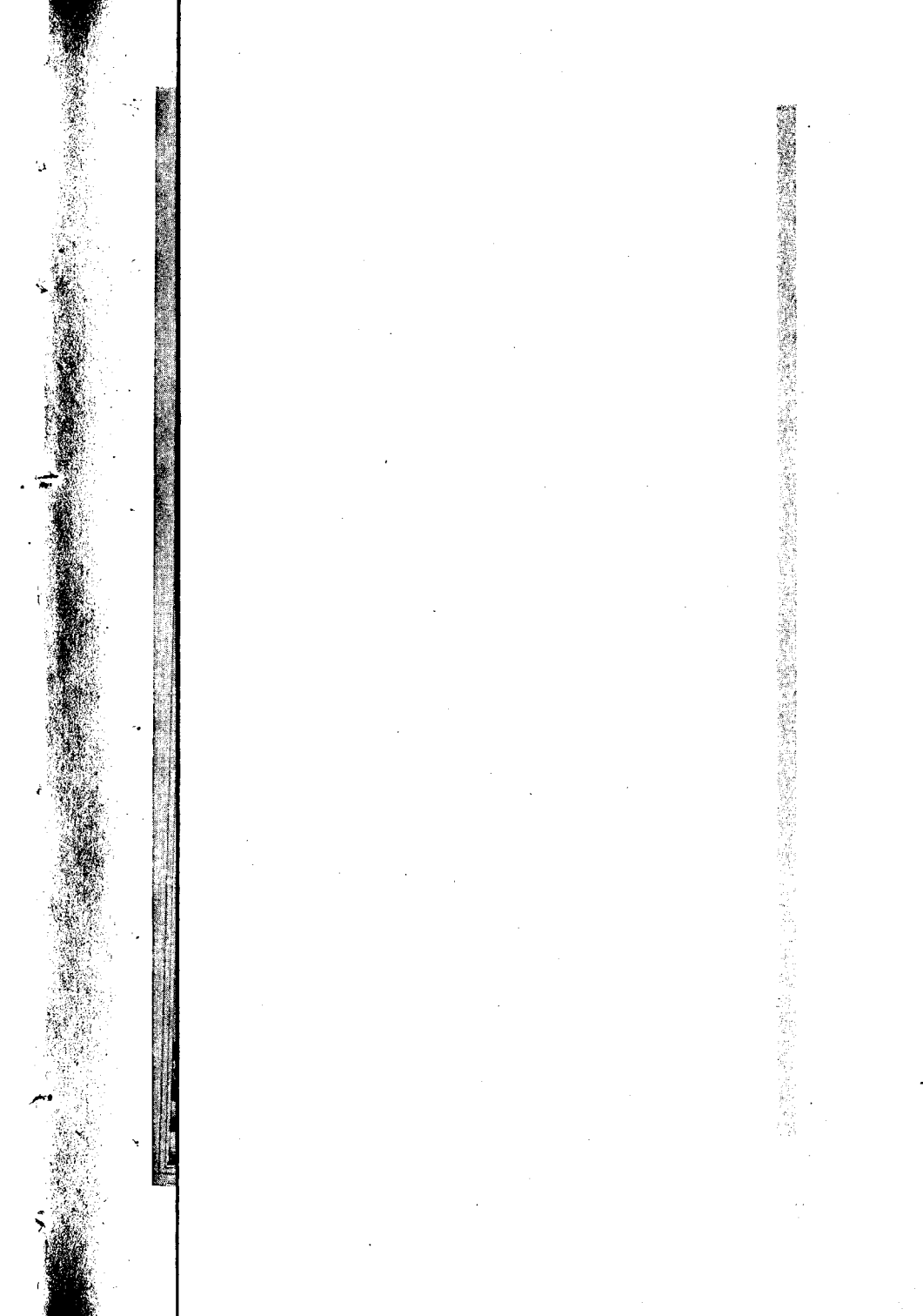
Что же касается самой «Книги Большому Чертежу», то до издания ее Н. И. Новиковым она распространялась в многочисленных списках.

В «Книге Большому Чертежу» представлена гидрография огромного пространства от «Студеного» моря до Черного, от «Котлина озера» (Финского залива) до Оби, «и за реку за Обь морским берегом до реки Таза и реки Тура до Мангазеи» «и по Енисею реку». На юге сведения «Книги» распространяются вплоть до Аральского моря и Сыр-Дарьи. Описание начинается от «царствующего града Москвы» и ведется по системам рек Дона, Дона, Терека, Яика, Днепра, Оки, рек севера. О Волге сказано: «А река Волга вытекла от Торонца за 60 верст, а от реки Ловати, от города от Холма за 50 верст, и потекла под Ржеву промезь озера Селижарова и озера Торона».

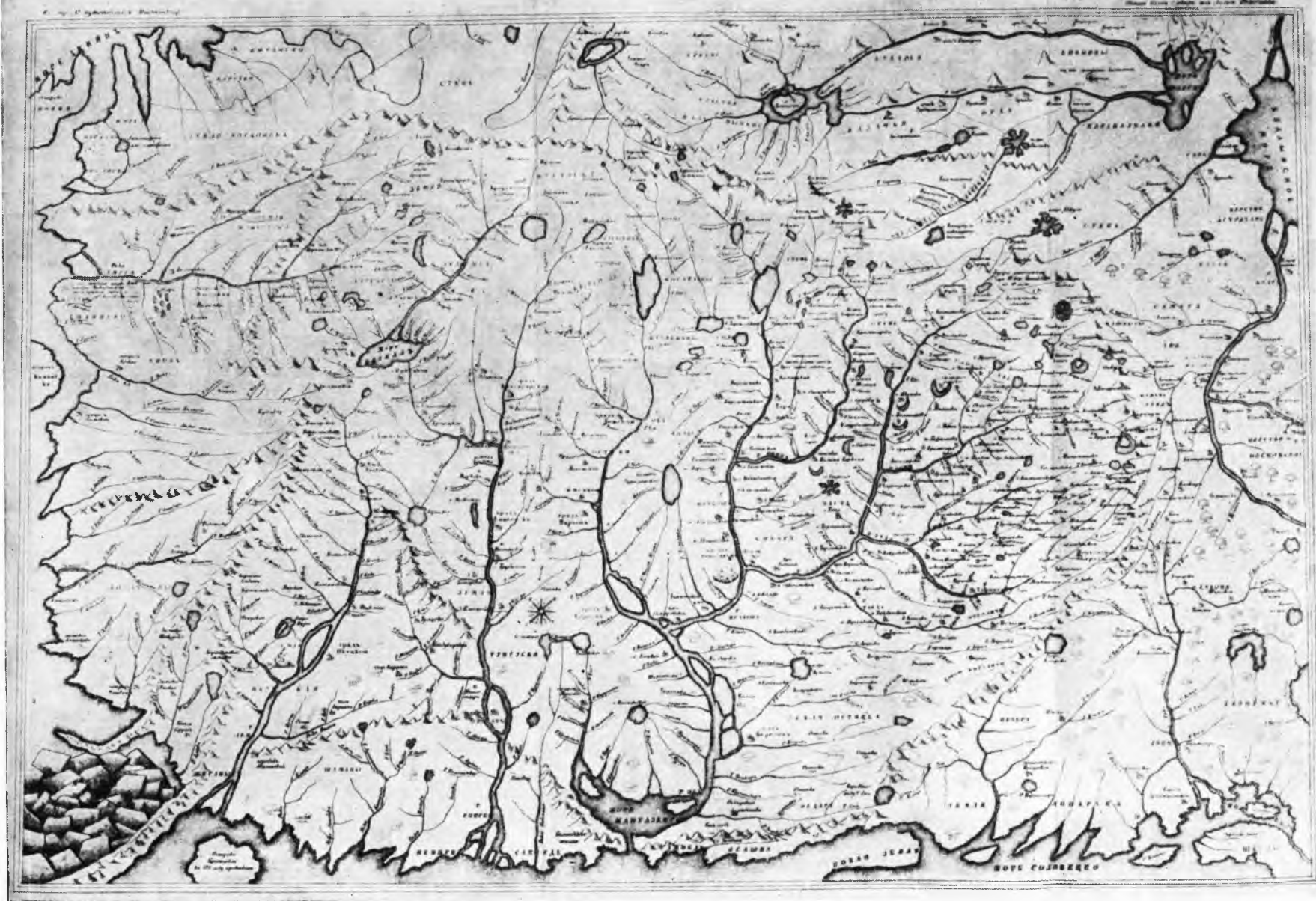
Являясь первоначально объяснительным текстом к карте Московского государства, «Книга Большому Чертежу» приобрела впоследствии значение самостоятельного сочинения и стала с XVIII в. по существу учебником русской географии и общеобразовательным пособием. Представляя собой выдающееся произведение русской географической мысли, «Книга Большому Чертежу» убедительно свидетельствует о весьма обстоятельных сведениях по гидрографии нашей Родины, которые были накоплены в России к началу XVII в.

Расширение границ Московского государства вызвало необходимость создания новых карт. В 1667 г. в г. Тобольске, являвшемся в то время административным центром Сибири, П. И. Годуновым был выполнен «Чертеж Сибирской земли», исправленный и дополненный в 1672 г. новыми сведениями. На чертежах показаны великие водные артерии Сибири и Дальнего Востока — Енисей, Лена, Амур с их притоками. В 1701 г., по указу Петра I, С. У. Ремезов создает в Тобольске первый русский географический атлас на 23 листах «Чертежную Книгу Сибири».

¹⁵ М. С. Боднарский. Очерки по истории русского землеведения. М., 1947.



УБЖЖ ББ СИБИРККА ГГДД ИИЗОНАА



Общая карта Сибири из атласа С. У. Ремезова



ДРЕВНЯЯ
РОССИЙСКАЯ
ИДРОГРАФИЯ,

содержащая
описание Московскаго госу-
дарства рѣкъ, протоковъ,
озеръ, кладязей, и какіе
по нихъ города и урочи-
ща, и на какомъ оныя
разстояніи.

Изданная
НИКОЛАЕМЪ НОВИКОВЫМЪ.



ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ 1773 ГОДА.

Несомненно, что накопление гидрографических знаний на Руси происходило не только в связи с использованием рек как естественных путей сообщения. Но и интересы уже достаточно оживленного судоходства требовали хотя бы самых элементарных наблюдений гидрометеорологического характера.

Видный русский климатолог М. А. Боголепов замечает, что «обилие метеорологического элемента в погодных записях новгородских летописей весьма понятно, так как торговля города велась исключительно водным путем, и всякая убыль и прибыль воды в реках, в зависимости от погоды, сильно сказывалась на благосостоянии новгородцев»¹⁶.

Впервые записи о метеорологических и гидрологических явлениях встречаются в конце X в. В них отмечаются главным образом дожди и наводнения. Особенно много таких записей, кроме Новгородской летописи (по р. Волхову), имеется также в Псковской летописи (по р. Великой). Хотя записи многих летописей часто не имеют указания, к какой реке или к какому пункту они относятся, и в них не отмечается, когда происходило фиксируемое явление, тем не менее они представляют исключительную научную ценность. Лучшая их обработка принадлежит М. А. Боголепову. Погодные записи наших древних летописцев широко использованы также Б. Д. Зайковым в его монографии «Высокие половодья и паводки на реках СССР» (1954) и Г. И. Швецом в работе «О половодьях на р. Днепре за тысячелетний период» (1955). Чтобы дать представление о характере метеорологических и гидрологических записей наших предков, приведем здесь некоторые из них.

В Никоновской летописи за 1002 г. записано: «В лето 6508... бысть поводь велика».

Запись той же летописи за 1063 г. гласит: «В лето 6571 в Новгороде иде река Волхов вспять 5 днии» (отметим, что обратное течение Волхова, имевшее место очень редко в результате резкого понижения в засушливые годы уровня Ладожского озера, позже 1525 г., по-видимому, не повторялось).

В Новгородской летописи за 1128 г. записано: «В лето 6636... В се же лето вода бяше велика в Волхове».

Запись в Ипатьевской летописи о половодье на Днестре у г. Галича в 1164 г.: «В лето 6672... То же лето бысть потопь велика в Галичи: божиим поущением умножившюся дождю внезапну, в один день и в пощ поиде вода из Днестра велика болонье, и взиде оли до Выкового болота и потопи человек боле 300... и бысть в них жатва дорога рамяно, на эту зиму».

В Псковской летописи за 1470 г. отмечено: «В лето 6978... Тоя же весна бысть вода велика сильна, наполнишася реки и озера, за много лет не бывала такова вода; а по Великой реке,

¹⁶ М. Боголепов. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. «Землеведение», 1907, кн. III—IV, стр. 63.

лед идучи, христианам силно много хором подрало и занасов снесло, и земли, ниви иные ледом подрало, а иные водою подмыло...»

О половодье на Москве-реке у г. Москвы в 1496 г. записано в Воскресенской летописи: «В лето 7004... сия же зима велми люта бысть, мрази быша велики и снегы, а на весне на Москве и везде поводь зело велика бысть, и за многу лет таковой поводи не помнят».

Записи X—XVI вв., как это видно и из приведенных здесь, оценивали гидрометеорологические явления лишь сравнительно. Каких-либо гидрометрических наблюдений на реках еще не было, за исключением, возможно, эпизодических измерений уровней (например, запорожскими казаками на порогах Днепра). Но нельзя не отметить, что уже в ранних летописях имеются свидетельства понимания естественной связи явлений.

Первые водомерные наблюдения на русских реках относятся ко второй половине XVII в., ко времени царствования Алексея Михайловича, когда начинают вестись записи колебаний уровня на Москве-реке. В некоторых сохранившихся «Дневальных записях Приказа тайных дел», наряду со сведениями о погоде, имеются также сведения о прохождении половодий. Так, в 1660 г. было отмечено:

«Марта 29, четверг. В десятом часу ходил великий государь в набережные хоромы, смотреть Москвы реки, а Москва река ниже Живого мосту прошла.

Марта 30, пятък. А в Москва реке воды прибыло 11 вершков.

Марта 31, суббота. А в те сутки в Москве-реке прибыло аршин пять вершков»¹⁷.

Тем же временем датируются первые законодательные акты, относящиеся к судоходству на реках. В главе девятой Уложения царя Алексея Михайловича 1649 г. имеется целый ряд статей, посвященных регламентации обязанностей частных владельцев в отношении нужд судоходства. Так, статьи 17 и 18 гласят:

«17. А которыми реками суды ходят, и на тех реках прудов новых, и плотин, и мельниц не делать, чтобы по тем рекам новыми прудами и плотинами судового ходу не перенять.

18. А буде кто на такой реке плотину и зделает, и ему этой плотины для судового ходу зделати ворота, чтобы теми вороты мочно было судам ходити...»¹⁸.

¹⁷ Б. Д. Зайков. Высокие половодья и паводки на реках СССР в историческое время. Л., 1954.

¹⁸ Уложение, по которому суд и расправа во всяких делах в Российском государстве производится, сочиненное и напечатанное при владении е. в. государя царя великого князя Алексея Михайловича всея России самодержца, в лето от сотворения мира 7156. М., 1737, стр. 26.

В статье Г. И. Сухомела и Г. И. Швеца «Развитие на Украине исследований по гидрологии, гидравлике и гидротехнике» (1955) отмечается факт составления в 1656 г. специальной инструкции для регулирования движения через днепровские пороги.

Гидротехнические работы, проводившиеся в интересах судоходства и в целях использования рек как источника энергии и водоснабжения городов и замков, значительно способствовали накоплению знаний о режиме рек и движении воды. С нуждами судоходства уже в XIII в. были связаны некоторые работы по спрямлению рек. Известно, например, спрямление одной из излучин на р. Сухоне, сделанное в 1278 г. князем Глебом и носящее название Княже-Глебовской прости (прямизны). Такой же канал был прорыт князем на р. Волгде.

В своей книге «Водное строительство Москвы» (1950), в которой имеется много интересных сведений по гидрографии России, Ф. Я. Нестерук отмечает как важное событие в истории русской гидротехники признание Иваном Грозным необходимости соединения водным путем волжского и северодвинского бассейнов, причем им было намечено два варианта соединения, к осуществлению которых было приступлено в 60-х годах XVI в., когда, во-первых, был прорыт канал (длиной 6 км) между притоком Сухоны р. Лежей и р. Васильевкой, впадающей в р. Монзу, являющуюся притоком р. Костромы, впадающей в Волгу; во-вторых, начали прорывать соединительный канал между р. Печербой, впадающей в р. Соду (Соть) — Камелу (приток Лежи — Сухоны), и рекой Журиной, впадающей в р. Ухтому, приток Согожи, изливающей свои воды в р. Шексну.

Энергетическое использование рек связано с устройством на них водяных мельниц для размола зерна, а затем пильных, бумажных и других мельниц. В Киевской Руси водяные колеса были известны уже в IX в.¹⁹ Упоминание водяных мельниц все чаще встречается в различных документах, начиная с XIII в. Из древних летописей известна смелая попытка использования энергии даже такой крупной реки, как Волхов. В IV Новгородской летописи в записи за 1528 г. говорится, что к новгородскому архиепископу Макарию «приде некий хитрец от псковские страны» (по Псковской летописи за 1524 г. — «Невежа Псковитин, Снетногорского мелника человек»), который, посмотрев на Волхов, сказал: «аще бы кто повелел, сделал бы есмь на сей реце мелницу»²⁰. Такое поручение ему было дано. Разверну-

¹⁹ М. М. Гришин. Гидротехнические сооружения, ч. 1. М., 1954.

²⁰ В. В. Данилевский. История гидросиловых установок России до XIX века. М.—Л., 1940, стр. 9.

лось опромное строительство рязевой плотины, которая должна была, не перегораживая всей реки, пересечь в виде буна быстрину у одного из берегов. Но в первое же половодье, которое, судя по летописи, было очень сильным, плотина Псковитина была разрушена. Тем не менее устройство плотины и мельницы на такой большой реке свидетельствовало не только о большой смелости Невежи Псковитина, но и об известном опыте гидротехнического строительства. Более широкое распространение водяные установки как источники энергии главным образом для сельскохозяйственного производства получили в XVII в.; нередко они использовались и для промышленных нужд. Однако наибольшее развитие гидросиловых установок относится у нас к XVIII в. Водяные колеса стали в мануфактурный период энергетической основой промышленности.

В условиях феодальных междоусобиц и частых внешних вторжений весьма важным делом было обеспечение городов водой. Отметим, что еще до монголо-татарского нашествия на Русь насчитывалась не одна сотня городов.

Н. И. Фальковский, автор «Истории водоснабжения в России» (1947), считает, что уже в конце X в. водопроводные сооружения не являлись для русских новинкой. К XII в. относятся остатки водопровода на Ярославском дворце Новгорода, обнаруженные археологом А. В. Арциховским. С 30-х годов XVII в. до XVIII в. в Московском Кремле успешно действовал напорный водопровод.

За пределами Руси, на нынешней территории нашей страны, велись гидротехнические работы для целей орошения. Так, в XII—XIII вв. в Грузии были прорыты Алазанский (119 км) и Самгорский (20 км) ирригационные каналы. С XIV в. вновь стали развиваться ирригационные системы в Средней Азии, претерпевшие серьезный упадок в начале монголо-татарского завоевания (XIII в.).

Не подлежит сомнению, что в XVII в., когда на реках России все чаще стали появляться гидросиловые установки, многие русские знатоки водного дела обладали опытом хотя бы самых элементарных гидрологических расчетов, который переходил от одного поколения к другому.

Опыт русских людей по использованию воды в хозяйственных целях пополнялся также виденным во время путешествий за границу. В 1437 г. на церковный собор во Флоренцию ездил русская делегация. Путь ее лежал через Германию. В своих записках участник делегации монах Симеон выражает удивление по поводу подъема воды из реки с помощью колеса, а также восхищается «хитростью» водопровода, который он видел в Нюрнберге. Интересуется техникой и купец Василий во время своего паломничества в 1465—1466 гг. в Иерусалим.

Он обращает внимание на водопроводы и орошение²¹. М. С. Боднарский отмечает, что за время с XII по XVIII в. до нас дошло около 20 описаний путешествий русских людей в Италию, Грецию, Среднюю Азию, Палестину, Персию, Китай, Индию.

Выше говорилось, что еще в древности народы многих стран смогли достичь больших успехов в использовании водных источников, и прежде всего в целях орошения. К XIII в. относится устройство шлюзов на некоторых водных путях Западной Европы. На некоторых европейских реках начинают производиться регулиационные работы. Однако развитие естественных знаний серьезно тормозилось католической церковью²². В период средневековья господствует религиозная догма с ее легендой «всемирного потопа», надолго задержавшей под спудом даже то, что было добыто древними натуралистами. Представление о круговороте воды основывается на библейском указании, гласящем: «Все реки текут в море, но море не переполняется; к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь» («Книга Екклесиаста», I, 7). Только в сочинениях писателей арабского Востока и Китая высказываются в этот период здравые суждения об окружающей природе, о круговороте воды, о ее роли в преобразовании земной поверхности.

Арабские ученые в своих суждениях вполне сознательно опирались на Аристотеля; они разделяли его взгляд на круговорот воды. Масуди (конец IX в. — 956 или 957 г.) сравнивал круговорот воды с воротом, который поднимает воду из реки, доставляет ее полям, откуда она снова возвращается в реку. Кацвини (XIII в.) утверждал, что содержащиеся в воздухе водяные пары должны на высоких горах стучаться в дождь.

Заметный сдвиг в научном познании природы и ее важнейшего элемента — воды происходит только на грани XV и

²¹ Т. Райнов. Наука в России в XI—XVII веках. М., 1940.

²² Американский ученый Г. Марш, автор книги «Человек и природа» (СПб., 1866), замечает, что католическая церковь тормозила также развитие гидротехнических работ на реках Западной Европы. Рыбные запруды, получившие очень большое распространение в средние века как источники пищи во время постов и принадлежавшие в большинстве церкви, «были, — говорит Марш, — слишком священны, чтобы на них можно было посягнуть ради санитарных целей... Право рыбной ловли было постоянным препятствием ко всякого рода гидравлическим усовершенствованиям, и до сих пор еще (т. е. до середины XIX в. — И. Ф.) в Южной Европе встречаются обширные и плодородные местности, которые страдают от излишней влажности и почти необитаемы и на которых не предпринимали никаких улучшений, потому что для этого потребовалось бы осушить болотные запруды, приносящие во время постов большой доход их собственникам» (стр. 444).

XVI столетий. В период, получивший название Высокого Возрождения, в Италии разворачивается исключительно многообразная деятельность Леонардо да Винчи (1452—1519). В своей научной работе Леонардо да Винчи большое место отводил опыту, эксперименту. Он считал, что «мудрость есть дочь опыта». Леонардо да Винчи подчеркивал особое значение опыта в гидромеханике. «Если хочешь изучать движение жидкости,— говорил он,— то сначала наблюдай, а уж потом применяй рассуждение». Но он понимал также огромное и главенствующее значение теории, говоря, что практика должна всегда опираться на хорошую теорию. Связь теории с практикой хорошо выражена им в афоризме: «Теория — полководец, и практика — солдаты».

Приведем еще следующее высказывание Леонардо, в котором он формулирует требование о практической цели науки, ее утилитарной направленности: «Когда будешь излагать науку о движениях воды, не забудь под каждым положением приводить его практические приложения, чтобы твоя наука не осталась бесполезной»²³.

Надо сказать, что это замечательное требование, которое для самого Леонардо да Винчи являлось руководящим, еще долго не было воспринято гидромеханиками последующего времени.

Вдумчивые наблюдения позволили Леонардо да Винчи обнаружить многие закономерности гидростатики и гидродинамики. Так, например, он ясно представлял, что при одинаковом уклоне и равной ширине средняя скорость течения больше в той реке, которая глубже, а также знал характер распределения и причину неравенства скоростей в поперечном сечении потока. Он говорил: «Если вода имеет постоянную глубину, ширину и уклон, то более быстрой оказывается та, которая ближе к поверхности; и это получается оттого, что верхняя вода граничит с воздухом, оказывающим малое сопротивление, поскольку он легче воды, а нижняя вода граничит с землей, которая обладает большим сопротивлением, будучи неподвижной и более тяжелой, чем вода»²⁴.

Леонардо да Винчи касается вопроса об образовании речных извилин, говорит о размыве перекатов во время спада высоких вод, о движении водоворотов, о грядовом характере перемещения донных наносов и других явлениях, наблюдающихся в реках. Укажем еще на то, что Леонардо да Винчи впервые применил двойной поплавок для измерения скоростей течения.

²³ Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955, стр. 338.

²⁴ Там же, стр. 358.

Свои знания в области гидравлики и гидрологии Леонардо да Винчи с успехом применял в практической деятельности по строительству каналов на севере Италии — в Ломбардии — и во Франции. Ломбардия была тогда по гидротехническим работам самой передовой областью не только в Италии, но и во всей Западной Европе. Строительство судоходных каналов началось здесь еще в XII в. За время с 1438 по 1475 г. только в Милане было построено до 90 км судоходных каналов с 25 шлюзами. Леонардо да Винчи руководил в 1494—1498 гг. строительством одного из каналов Милана. Известны проекты и многих других каналов, разработанные Леонардо, но не получившие осуществления из-за тогдашней раздробленности Италии. Не получили практического претворения также проекты Леонардо да Винчи по сооружению ирригационных каналов, по осушению Понтинских болот, соединению французских рек Луары и Соны. По трассам, избранным когда-то Леонардо да Винчи, прошли каналы в более позднее время, хотя инженеры и не знали о проектах их гениального предшественника²⁵.

К сожалению, трактаты Леонардо да Винчи по механике жидкости были опубликованы только в начале XX в., т. е. спустя более 400 лет со дня его смерти, и его плодотворный метод физического эксперимента долгое время не получал должного развития в изучении водных потоков.

Уже древние натуралисты заметили мощное действие текущих вод на земную поверхность. Но даже греки, так много сделавшие для познания природы, получив от своих предшественников довольно скудное научное наследство, не могли еще выработать обобщающего взгляда на текучие воды как на один из главнейших рельефообразующих факторов и подметить закономерности водноэрозионных процессов.

Возможно, только римляне начинают приближаться к такому взгляду. По крайней мере, у Овидия (43 г. до н. э.— 17 г. н. э.) в его «Метаморфозах» имеется следующее замечание: «Что некогда было равниной, превращается текущей водой в долины, и горы от размывания стали равнинами»²⁶.

В годы, отчасти совпадающие с периодом деятельности Леонардо да Винчи, в Германии жил крупнейший ученый того времени Г. Агрикола (1494—1555). Ему принадлежит немало ценных мыслей о роли воды в процессах преобразования земной поверхности. Г. Агрикола о рельефообразующей деятельности водных потоков говорит следующее: «что вода образует очень много гор, это ясно, так как ручьи сначала смывают мягкую

²⁵ Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955, стр. 970.

²⁶ Вселенная и человечество, т. 1. 1896, стр. 193.

землю, потом принимаются за более твердые породы, и наконец, уносят даже обломки скал; они благодаря этому могут в несколько лет разрыть до известной степени ровную поверхность поля или наклонный скат; это может заметить даже неопытный наблюдатель в любой горной местности»²⁷.

Но потребовалось еще столетие, чтобы наблюдательные исследователи природы могли подметить определенные закономерности, присущие долине и речному руслу. Г. Галилей (1564—1642) впервые дает определение продольного профиля реки как вогнутой кривой, при которой в реке устанавливается равновесие между размывающей силой потока и сопротивлением русла²⁸.

Относительно сложности движения жидкости Галилей говорил, что изучение законов движения небесных тел представляет меньшие трудности, чем проходящие перед глазами движения отдельных струй в реке²⁹. Г. Галилей по праву считается вместе с голландским механиком С. Стевином (1584—1620) и французским ученым Б. Паскалем (1623—1662) создателем учения о равновесии жидкости (гидростатики).

В XVII в. в Западной Европе появляется ряд сочинений, в которых получают отражение многие гидрологические вопросы. К числу крупнейших сочинений середины этого века относится изданная в 1640 г. в Голландии «География генеральная» Б. Варений. Вопросы гидрологии трактуются в этом сочинении в двух специальных главах: 15-й — об озерах, прудах и болотах и 16-й — о реках.

В главе о реках содержатся сведения и о русских реках — Волге, Доне, Днепре. Так, о Волге Варений пишет, что она «из озера истекает» и прежде чем «в море Каспийское облегчит себя», «200 или больше источников и рек приемлет».

Задавая вопросом, почему океан не бывает больше, принимая в себя многие реки, Варений отвечает: «Причина есть: 1. Понеже через подземные окна к источникам рек возвращается вода из моря. 2. Что премногие влаги из океана возносятся, которых разсыпанных часть с дождем спадает в самый океан, а часть на землю»³⁰.

Однако второму пути расходования воды океаном он придает лишь второстепенное значение. Он оспаривает мнение Аристотеля о происхождении подземных вод из воздуха, содержащегося внутри земли, признает ошибочным взгляд тех, кто считает, что

²⁷ Там же, стр. 90.

²⁸ К. К. Марков. Основные проблемы геоморфологии. М., 1948.

²⁹ Энциклопедический словарь Гранат, т. 14. М., стр. 484.

³⁰ Б. Варений. География генеральная или повсюдная... М., 1718; стр. 142.

«столько множество паров из моря изъёмлетя, колико родитися могло бы из воды, которая из рек в море втекает», и соглашается с теми авторами, которые считают, что «сколько в море втекает воды из рек, столько земля обратно восприимлет» (там же, 199).

Варений полагал, что основным источником питания рек, наряду с атмосферными осадками, являются воды, поступающие в реки из моря «через подземные окна». В подтверждение своих представлений он приводит Египет, где мало дождей, нет снегов, а реки имеются. Варений еще не знал, что и питание рек Египта целиком зависит от атмосферных осадков, а разливы Нила связаны с дождями, выпадающими в Абиссинском нагорье.

Касаясь извилистости рек, Б. Варений считал, что причиной ее может быть само движение воды, «иногда же противолежащие в прямом течении мели» (там же, стр. 214).

Книга Б. Варения, хотя она и содержала некоторые еще ошибочные суждения, в целом представляла собой крупный шаг вперед по сравнению с взглядами, господствовавшими в период средневековья. Недаром она, по указанию Петра I и с его участием в редактировании, была издана в 1718 г. на русском языке и, как говорит известный географ М. С. Боднарский, служила в России источником научных географических знаний в течение XVIII и в начале XIX в.

Не совсем правильная трактовка Варением вопроса о кругообороте воды в природе объяснялась прежде всего крайней недостаточностью фактических данных, а также влиянием представлений, перешедших из средневековья. Правда, еще в 1580 г. пылливый парижский гончар Бернар Палисси в своем сочинении «О происхождении ключей из дождевой воды» говорит: «Я долго и тщательно изучал причины образования естественных ключей и тех местных условий, при которых они образуются, и убедился, наконец, что они все происходят от дождей и существуют только благодаря дождям»³¹. Но взгляд Палисси не мог получить в то время широкого признания и распространения.

³¹ Г. Марш. Человек и природа, стр. 466.— Марш приводит относящееся к 1855 г. следующее любопытное высказывание французского физика Ж. Бабиня (1794—1872), предлагавшего создание искусственных ключей путем собирания атмосферной воды на песчаных площадках: «Я намерен теперь изложить перед моими читателями способ устройства искусственных колодцев по плану знаменитого Бернара Палисси, который назад тому триста лет похитил у меня, академика девятнадцатого столетия, открытие, стоившее мне столько трудов. Это одно уже может отбить охоту стремиться к изобретениям, если изобретатель должен опасаться похитителей не только в будущем, но даже и в прошедшем» (там же, стр. 468).

Более ста лет спустя такой же взгляд на происхождение грунтовых вод был высказан французским ученым Э. Мариоттом в его «Трактате о движении вод» (1684).

Для доказательства инфильтрационной теории образования подземных вод Э. Мариоттом были проведены дождемерные наблюдения в Дижоне, а также измерения уровня грунтовых вод в подвалах Парижской обсерватории, которые показали прямую зависимость подземных вод от количества выпадающих атмосферных осадков.

Этот научный вывод Мариотта также не имел на первых порах большого успеха, и знаменитому немецкому ученому Г. В. Лейбницу пришлось в своей «Протогее» (1693) решительно выступить против средневековых представлений о происхождении источников и доказывать, что естественная тяжесть воды является единственной силой, действующей при образовании источников. Хотя заимствованный у древних греков доаристотелевского периода взгляд, что реки питаются водой океана, поступающей в них подземными путями, еще в XVIII в. находил приверженцев, опыты Палисси и Мариотта не прошли незамеченными. Эти опыты, нанесшие неправильному взгляду на образование источников серьезный удар, снова поставили вопрос о круговороте воды в природе на научную почву.

Со второй половины XVII в. начинается творческая деятельность великого английского ученого И. Ньютона (1642—1727).

Его важнейшим вкладом в науку о движении жидкости явилась выдвинутая им гипотеза о внутреннем трении в жидкости, или вязкости. Своей гипотезе Ньютон дал математическое выражение, связав силу внутреннего трения (τ) с величиной производной скорости движения жидкости по глубине при данной температуре:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}.$$

Гипотеза Ньютона о независимости силы внутреннего трения в жидкости от давления была подтверждена впоследствии опытным путем. Чтобы подчеркнуть исключительное значение проблемы вязкости движущейся жидкости, скажем, что именно благодаря вязкости происходит передача движения от одного слоя жидкости к другому, т. е. формирование скоростного поля ламинарного (слоистого, спокойного) потока.

Как уже отмечалось, в 1694 г. во Франкфурте-на-Майне была опубликована книга Мельхиора, содержащая начала учения о водах, в которой впервые употребляется термин «гидрология».

Подведем основные итоги.

В отличие от стран Востока и Средиземноморья, на Руси накопление гидрографических сведений и познание свойств рек происходило главным образом в связи с использованием их как путей сообщения. Славянские народы селились по берегам рек, которые связывали славян с внешним миром. Особую роль в этих связях играл путь «из варяг в греки» и Волга. Настоящим подвигом русских людей было освоение рек северо-востока, начатое еще жителями Великого Новгорода, но особенно энергично проводившееся в конце XVI и в первой половине XVII в. отважными землепроходцами.

Гидрографическое изучение России нашло отражение на многих чертежах того времени. Замечательным письменным памятником русской гидрографии является составленная в 1627 г. «Книга Большому Чертежу», представляющая собой объяснительный текст к вычерченной в 1552 г. и возобновленной в 1627 г. первой географической карте русского государства.

К концу XVII в. русская гидрография располагала уже довольно обширными сведениями о реках как европейской, так и азиатской частей России. Однако эти сведения, как можно судить, например, по карте С. Ремезова, были пока еще далеко не точными, направление течения даже крупных рек показывалось лишь приблизительно.

Русские летописи свидетельствуют о том, что с X в. стал проявляться интерес летописцев к метеорологическим и гидрологическим явлениям, а во второй половине XVII в. впервые начинают вестись эпизодические водомерные наблюдения на Москве-реке, прежде всего наблюдения за высотой весенних половодий. Вообще же наблюдения за гидрологическими характеристиками рек (колебания уровней, скорости течения, расходы воды, сроки замерзания и вскрытия) еще не производились.

Вмешательство в естественный быт рек и использование их энергетических ресурсов вплоть до XVIII в. было еще настолько незначительным, что запросы гидротехнической практики могли удовлетворяться теми элементарными знаниями свойств рек, которыми обладали мастера водного дела.

В Западной Европе в период раннего феодализма был распространен неправильный доаристотелевский взгляд на круговорот воды в природе. Согласно этому взгляду, вода из морей подземными путями поднимается к верховьям рек, выходит здесь в виде ключей в реки и стекает обратно в море. Только в сочинениях писателей арабского Востока и Китая высказываются в этот период правильные суждения о круговороте воды и ее роли в преобразованиях, происходящих на земной поверх-

ности. Развитие подлинно научных знаний о движении воды в реках, о русловых процессах, об эрозионной деятельности вод, о речных долинах, начавшееся на Западе на грани XV и XVI вв., связано в рассматриваемое время с великими именами Леонардо да Винчи, Г. Агриколы, Г. Галилея, И. Ньютона и др. Благодаря наблюдениям и опытам Б. Палисси и Э. Мариотта и доказательствам Г. Лейбница, нанесшим неправильному представлению об образовании подземных вод и источников серьезный удар, вопрос о круговороте воды в природе ставится на научную почву.

Глава II

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРТИ XVIII в.

Развитие мануфактуры, внутренней и внешней торговли.— Внимания Петра I к развитию водных путей.— Изыскания с целью строительства каналов.— Попытки соединения Волги с Доном.— Строительство Вышневолоцкой системы.— Экспедиция на Аму-Дарью А. Бековича-Черкасского.— Карта Каспийского моря.— Первое измерение расхода воды в Волге.— Начало организации водомерной службы.— Лесоохранные указы Петра I.— Издание книг, содержащих элементы гидрологических знаний.— Создание Академии наук.— Краткие выводы.

С конца XVII — начала XVIII в. под влиянием роста производительных сил в недрах феодального строя в России начинают все заметнее проявляться элементы нового, исторически более прогрессивного капиталистического строя, возникшего сначала в форме мануфактурного производства. В России, сильно отставшей в своем развитии от многих стран Западной Европы, назревает необходимость в решительных мерах для преодоления этого отставания. В этих условиях на государственное поприще вступает выдающийся деятель русской истории Петр I. Петр заботится о всемерном развитии промышленности, особенно металлургической и металлообрабатывающей, понимая, что без подъема этих отраслей производства экономическое и военное могущество государства не может быть обеспечено. Между тем Петр I в своих военных планах прежде всего стремился к завоеванию выходов России к морям.

После победы над шведами в 1709 г. правительство Петра проводит ряд мер, направленных на ускорение строительства таких предприятий, как лесопильные мельницы, бумажные, суконные, полотняные, стекольные и другие фабрики. Энергетической основой многих отраслей производства становится водяное колесо.

С ростом промышленного производства происходит быстрое развитие внутренней и внешней торговли. В связи с этим исключительно большое внимание Петр I обращает на развитие

водных путей России. На некоторых реках начинаются работы по углублению перекатов. Была предпринята попытка перегордить плотинами песколько рукавов Дона при его впадении в море с тем, чтобы направить воду в главный рукав и размыть его на большую глубину. Таким образом, при Петре I кладется начало путевым работам на русских реках.

В 1699 г. Петр I принимает личное участие в съемке Дона от Воронежа до Азова, произведенной К. Крейсом. В своем сочинении «Разыскания о Доне, Азовском море, Воронеже и Азове...» Крейс пишет, что он «реку Дон... в присутствии его царского величества зделал...»¹. В результате была составлена карта Дона. Крейс писал о Доне, что «ширина его от 300 до 600 сажен и везде от средних чисел апреля месяца до половины, а иногда и до исхода июня месяца, глубины довольно для прохода кораблей, но после того времени, а именно в июле, августе и последующих месяцев вода збывает очень скоро, так, что на некоторых местах остается глубины только до полутора фута...»². В работе Крейса имеется указание на то, что еще в царствование Ивана Грозного турецкий султан Селим, собираясь воевать против Персии, пытался «реку Дон ввести в реку Волгу», но русские этого не допустили.

Двумя годами раньше Петру было представлено произведенное по его указу гетману Мазене «Описание реки Днепра от м. Переволочного до Черного моря»³. Описание носит характер простого перечисления притоков Днепра и Буга, островов и порогов.

До XVIII в. в России не существовало искусственных каналов, соединяющих реки разных бассейнов. При переходе из одной речной системы в другую приходилось затрачивать много времени и труда на преодоление волоков.

Во время своих многочисленных поездок по стране Петр I тщательно изучает возможности устройства соединительных каналов. По его инициативе были составлены проекты соединения рек Москвы и Волги, Волги и Дона, Вышневолоцкой водной системы, бассейнов Каспийского и Белого морей (будущее Северо-Екатерининское сообщение), Днепра и Западной Двины, Мариинской и Тихвинской водных систем и проведены связанные с этими проектами изыскания на реках и водоразделах, причем в некоторых работах Петр I принимал личное участие. Так, в 1711 г. он несколько дней провел на водоразделе между реками Ковжею и Вытегрою, где Д. Перри производил изыскание

¹ К. Крейс. Разыскания о Доне, Азовском море, Воронеже и Азове (с некоторыми сведениями о казаках). «Отечественные записки», 1824, ч. 19, стр. 305.

² Там же, стр. 317.

³ Н. И. Максимович. Днепр и его бассейн. Киев, 1901.

трассы канала, который соединил бы эти реки (будущий Мариинский путь).

Петр также лично произвел на месте выбор направления для соединения рек Тихвинки и Валчины (будущая Тихвинская система). По повелению Петра, стольник Максим Цызарев произвел в 1701 г. первое исследование и описание р. Западной Двины от истока до Полоцка, после чего был составлен первый проект соединения Западной Двины и Днепра в районе Смоленска.

Наблюдение за работами на водных путях приобрело при Петре централизованный характер: сначала оно осуществлялось сенатом, а затем, с 1718 г., учрежденной Петром коммерц-коллегией.

Соединение Волги с Доном предполагалось произвести посредством устройства канала между притоком Дона — Иловлей и притоком Волги — Камышинкой. Работы, начатые в 1697 г., в 1701 г. из-за войны со Швецией были прекращены. Надо сказать, что выбор этого места соединения бассейнов Волги и Дона был явно неудачным. Разность высот верховьев Иловли и Камышинки, как показали изыскания более позднего времени, такова, что потребовалось бы копать канал глубиной до 120 м, что при технике петровского времени едва ли могло быть осуществлено. Не был закончен также и канал для соединения Волги и Дона по направлению от Иван-озера до р. Шат — притока р. Уны, впадающей в Оку.

Одновременно с начатым в 1703 г. в устье Невы строительством Петербурга Петр осуществляет соединение повой столицы с бассейном Волги. В 1703—1709 гг. создается первая в России искусственная водная система — Вышневолоцкая, обеспечившая судоходное сообщение между Волгой и Невой по р. Тверце, Тверецкому каналу, рекам Цне и Мсте, оз. Ильмень, р. Волхову и Ладожскому озеру. В 1719—1731 гг., ввиду частых и больших волнений в прибрежной части Ладожского озера, вдоль его берега от устья Волхова до истока Невы, по приказанию Петра I был сооружен 100-километровый обходной плюзованный канал.

Вышневолоцкая система строилась под руководством иностранных специалистов, которые плохо справились с порученной им работой. Построенный ими соединительный канал между Тверцой и Цной оказался настолько мелким в маловодное время, что не мог пропускать даже разгруженные суда. В 1719 г. переустройство Вышневолоцкой системы было поручено М. И. Сердюкову, который в короткий срок, всего за три года, блестяще справился с возложенной на него задачей, решив ее радикальным образом. Он создал между реками Шлиной и Цной водохранилище с объемом воды, достаточным для того, чтобы путем попусков в маловодные периоды обеспечивать нормальный проход судов на меководных участках Тверцы и Цны. Создав

запасные водохранилища, М. И. Сердюков осуществил регулирование стока рек.

В своей книге «Путешествие из Петербурга в Москву» А. Н. Радищев так отзываясь о Вышневолоцкой системе: «Никогда не проезжал я сего нового города, чтобы не посмотреть здешних шлюзов. Первый, которому на мысль пришла уподобиться природе в ее благодеяниях и сделать реку рукодельную, дабы все концы единой области в вящее привести сообщение, достоин памятника для дальнейшего потомства»⁴.

В 1717—1719 гг. «геодезии ученики» М. Исупов и В. Леушинский выполнили задание об изысканиях и составлении проекта канала между притоком р. Вазузы, впадающей в Волгу, р. Гжатью и притоком р. Угры, впадающей в Оку, р. Ворей⁵.

Много внимания было уделено Петром I поискам водного пути из России в Индию через Среднюю Азию. Главным образом с этой целью Петр посылает в 1715 г. на Аму-Дарью экспедицию А. Бековича-Черкасского. Очень важным результатом работы этой экспедиции явилась съемка северного и восточного берегов Каспийского моря; при этом было бесспорно доказано, что Аму-Дарья в Каспийское море не впадает.

В феврале 1716 г. Петр I дал А. Бековичу-Черкасскому подробный наказ об исследовании возможности поворота течения Аму-Дарьи в Каспийское море и о поисках речного пути в Индию. Он предлагал «ехать к хану Хивинскому послом, а путь иметь подле той реки (Аму-Дарья.— *И. Ф.*) и осмотреть прилежно течение оной реки, тако же и плотины; ежели возможно, оную воду пока обратить в старой ток, к тому же прочие устья запереть, которые идут в Аральское море, и сколько к той работе потребно людей»⁶.

Относительно исследования водного пути в Индию наказ Петра I А. Бековичу-Черкасскому гласил: «Так же просить у него (хивинского хана.— *И. Ф.*) судов, и на них отпустить купчину по Аму-Дарье реке в Индию, наказав, чтобы изъехал ее, пока суда могут идти, а оттоль бы ехал в Индию, примечая реки и озера и описывая водяной и сухой путь, а особливо водяной к Индии тою или другими реками, и возвратиться из Индии тем же путем, или, ежели услышит в Индии еще лучший путь к Каспийскому морю, то оным возвратиться и описать»⁷.

Экспедиция А. Бековича-Черкасского закончилась трагично: отряды Бековича в результате вероломного нападения на

⁴ А. Н. Радищев. Полное собрание сочинений, т. 1. М.—Л., 1938, стр. 323.

⁵ К. И. Шафрановский. Проект канала между реками Гжать и Воря первой четверти XVIII в. «Известия АН СССР», серия геогр., 1, 1953.

⁶ Полное собрание законов Российской империи, т. V. СПб., 1830, § 2993.

⁷ Там же.

них войск хивинского хана были истреблены, сам Бекевич был убит, часть людей попала в плен. Все же этой экспедицией было добыто немало весьма ценных сведений, особенно по гидрографии Каспийского моря и рек между Каспием и Аралом. На основании работ экспедиции А. Бекевича и съемок южного и западного берегов Каспия, произведенных в 1719 г. известным гидрографом Ф. И. Соимоновым и К. Верденом, в 1721 г. была составлена карта Каспийского моря, впервые правильно показавшая его географическое положение и очертания.

Кроме экспедиций в места будущих трасс искусственных водных путей, известны и другие экспедиции, снаряжавшиеся по инициативе Петра I в различные концы страны с целью географического изучения. Так, в 1717—1720 гг. ценное в научном отношении путешествие по Волге и прикаспийским районам совершил Г. Шобер. Он много времени уделил Каспийскому морю, хотя и высказал при этом ошибочное мнение, что понижение уровня моря зависит не только от испарения, но и от того, что часть воды уходит из моря, просачиваясь сквозь песчаное дно. Уместно здесь указать на то, что Д. Перри, как Шобер и многие другие иностранные специалисты работавший в России по приглашению Петра, в своей работе «Состояние России при нынешнем царе», изданной в Лондоне в 1716 г., рассматривая вопрос о балансе воды Каспийского моря, приходит к выводу, что «Каспийское озеро, или море, не имеет никакого подземного сообщения с океаном, следовательно, понижение уровня воды, находящейся в этом море, нельзя объяснить ничем иным, как силою испарения, обусловливаемого лучами солнца и влиянием ветров»⁸.

Таким образом, Д. Перри высказывает взгляд, получивший позднее полное подтверждение.

Отметим еще, что именно в связи с исследованием вопроса о водном балансе Каспийского моря Д. Перри, руководивший сооружением Волго-Донского канала, произвел в августе 1700 г. первое измерение расхода воды в р. Волге. Вот как Перри описывает свои исследования по водоносности Волги:

«Около трех миль ниже города Камышинки, в узком пространстве, где струя воды бежит без всякого препятствия и берега с обеих сторон обнажены, я начал свои исследования над быстротою течения, измеряя и сравнивая его в разных местах. Тут я исчислил, что быстрота течения равняется двадцати трем сажениям или ста тридцати английским футам в минуту; затем я измерил глубину реки в самом мелком месте, где, оказалось, по крайней мере, семнадцать футов; наконец всю ширину реки, производя мои исследования посредством теодолита. Тут оказа-

⁸ Д. Перри. Состояние России при нынешнем царе. 1716. Перевод с англ. М., 1862.

лось пять тысяч восемьсот шестьдесят футов (не считая дробь), и перемножив все эти суммы, т. е. течение реки и глубину и ширину ее, в итоге оказалось 13 747 560 куб. футов, текущих в русле Волги в означенное время. Сумму эту я разделил на тридцать шесть, т. е. на число кубических футов, заключающихся в тонне воды, и в частном оказалось, что река Волга изливает 381 876 тонн воды в течение минуты»⁹.

Учитывая, что этот расчет произведен для августа, т. е. самого сухого времени года, и что основная масса талых вод проходит по Волге до июля месяца, Д. Перри приходит к заключению, что Волга приносит в Каспийское море в течение всего года более 445 522 м³ в минуту. Весь же приток воды в Каспийском море, с учетом других рек, Перри полагает в три раза большим, т. е. равным 1 336 566 м³ в минуту. Д. Перри мало ошибся в определении среднегодового расхода Волги у Камышина, но он слишком преувеличил приток в Каспийское море вод других рек, кроме Волги, почему общий приток в море оказался у него выше действительного более чем в два раза. На самом же деле на долю всех рек, кроме Волги, в общем притоке речных вод в Каспийское море приходится не две трети, как думал Перри, а всего около одной пятой.

Весьма важной была экспедиция приглашенного Петром для исследования Сибири немецкого ученого Д. Г. Мессершмидта, проведенная в 1719—1727 гг. Мессершмидт собрал много ценных сведений о географии и природе края. Трудный маршрут его путешествия проходил по рекам Енисею, Нижней Тунгуске, Лене, Ангаре, Кети, Оби, Иртышу. По окончании экспедиции Мессершмидтом были представлены карты, о которых Академия наук писала, что «карты по географической науке сочинены изрядно»¹⁰. Мессершмидт описал оз. Байкал и составил его первую карту, оставшуюся неизданной.

Не касаясь многих других экспедиций, проводившихся при Петре I, подчеркнем лишь, что именно он широко ввел в практику метод экспедиционных исследований обширных пространств России.

В эпоху Петра I начали проводиться в России систематические водомерные наблюдения на некоторых реках. В организации водомерной службы, как и во всяком важном деле, Петр I принимал непосредственное участие.

В 1715 г. на Неве у Петропавловской крепости был установлен водомерный пост; сохранились результаты наблюдений по этому посту за уровнями наводнений, привязанные к современной системе отметок и зафиксированные памятными досками

⁹ Там же, стр. 65.

¹⁰ П. Пек ар с к и й. Наука и литература в России при Петре Великом, т. 1. СПб., 1862, стр. 360.

под аркою Невских ворот Петропавловской крепости. В 1724 г. водомерные посты были установлены на Ладожском озере, Валдайских озерах, уральских прудах. С этого же времени начинают обращать внимание на наблюдения за высотой уровней весенних половодий, к чему Петр I также проявлял большой интерес. В 1722 г. во время посещения Макарьевского монастыря в Нижнем Новгороде Петр, заметив доску, на которой отмечалась высота половодий на Волге, и выслушав ответ на вопрос о назначении доски, сказал: «Умно и впредь прошу то же делать»¹¹.

Отметим, что самой давней из дошедших до нас меток половодий является метка, зафиксировавшая в 1641 г. уровень Оки у с. Дединово¹².

Во времена Петра принимаются меры, направленные против истребления лесов. Изданные Петром лесоохранными указами строжайше запрещалось производить прорубки леса вдоль берегов многих рек. Так, указом от 30 марта 1701 г. повелевалось: «Ближе 30 верст от рек, которыми леса плавить возможно, лесов под пашню и под сennie покосы не чистить»¹³. Петр считал необходимым широко опубликовать лесоохранные законы, «чтобы в том неведении никто не отговаривался». Непосредственным поводом строгих указов по охране леса, предусматривавших наказание виновных вплоть до смертной казни, была забота Петра I о сохранении ценных пород леса как основного строительного материала для осуществления задуманной им широкой программы по созданию мощного военного флота. Но можно полагать, что при этом учитывалось также влияние леса на режим рек и на климатические условия страны¹⁴.

В царствование Петра I серьезное внимание обращается на издание литературы. При Петре I была издана 591 книга. В редактировании некоторых книг, переведенных с иностранных языков, Петр I принимал личное участие, придерживаясь при этом правила, чтобы «книги перевозжены были без лишних рассказов, которые время только тратят и чтущим охоту отъемлют»¹⁵.

Из книг, имеющих отношение к распространению гидрологических знаний, по указанию Петра были переведены «География генеральная» Б. Варения, о которой мы уже говорили, и

¹¹ С. В. Ешевский. Пребывание Петра Великого в Нижнем Новгороде в 1722 году. В кн.: А. С. Гацицкий. Нижегородка. Н. Новгород, 1877, стр. 252.

¹² Б. Д. Зайков. Высокие половодья и паводки на реках СССР. Л., 1954.

¹³ «Журнал Министерства государственных имуществ», 1841, ч. 1.

¹⁴ С. Князьков. Очерки истории Петра Великого и его времени. М., 1909.

¹⁵ Там же, стр. 330.

«Книга о способах, творящих водохранилище рек свободное» (1708), которая знакомила русского читателя с некоторыми приемами регулирования рек и выправления русел, а также с устройством судоходных шлюзов.

Крупнейшим событием в истории нашей страны, связанным с деятельностью Петра I, явилось создание по его инициативе Академии наук в Петербурге. В числе 19 специализированных мастерских Петр намечал организацию при Академии также мастерской «фонтанов и прочего, что до гидроделики надлежит». Русская Академия наук сыграла впоследствии выдающуюся роль в развитии мировой науки, в организации научных исследований в нашей стране, в изучении ее природных богатств, в том числе и водных.

В итоге гидрографических исследований, проведенных в первой четверти XVIII в., изучение вод страны получило дальнейшее развитие. Наряду с общегеографическими исследованиями рек и озер, проводившимися отдельными путешественниками и экспедициями, в этот период многие реки и водоразделы между ними впервые изучались в инженерных целях, в связи со строительством искусственных водных путей (Вышневолоцкая система, Волго-Донской канал и др.). Следует, однако, сказать, что технический уровень водных исследований был еще очень низок.

Большое внимание было уделено исследованиям Каспийского моря и рек его восточного побережья. Крупными научными результатами этих исследований явились, во-первых, доказательство того, что Аму-Дарья не впадает в Каспийское море, и, во-вторых, составление карты всего Каспийского моря, на которой впервые правильно были показаны географическое положение и очертания моря. В 1700 г. Д. Перри произвел первое, хотя и далеко не точное, но научно-обоснованное определение водного баланса Каспийского моря и измерение в связи с этим расхода воды в р. Волге.

Важным мероприятием петровского времени явилось установление на Неве и в других пунктах страны водомерных постов для проведения систематических наблюдений за колебаниями уровней воды.

Большое значение в гидрографическом изучении страны и в развитии гидрологических знаний имело создание Академии наук, открытой в 1725 г. Одним из наиболее важных дел, принадлежащих инициативе Петра I, следует считать издание научно-технической литературы, в том числе книг, знакомящих русских читателей с вопросами гидрологии, с достижениями в этой области за границей.

ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРАНЫ ДО КОНЦА XVIII в. ВЫРАБОТКА ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О КРУГОВОРОТЕ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Строительство гидросиловых установок (В. Геннин, И. И. Ползунов, К. Д. Фролов и др.).— Водомерные наблюдения.— Первая и вторая Камчатские экспедиции.— Труд С. П. Крашенинникова «Описание земли Камчатки».— Географический атлас Академии наук.— Значение трудов М. В. Ломоносова в развитии гидрологических знаний.— Труды Л. Эйлера и Д. Бернулли по гидродинамике.— «Топография Оренбургская» П. И. Рычкова.— Географические словари.— Академические экспедиции 1768—1774 гг.— Вопрос о круговороте воды в трудах П. С. Палласа, Н. И. Лепехина и С. Г. Гмелина.— Начало деятельности Вольного экономического общества.— Изыскания на водных путях.— Краткие выводы.

В условиях крепостнической России с ее технической отсталостью намечавшая Петром I обширная программа мероприятий на речных системах могла быть выполнена лишь частично. При его преемниках почти до самого конца XVIII в. работы по улучшению водных путей того масштаба, какой они приобрели в начале века, не производились.

Мероприятия этого периода ограничивались поддержанием в надлежащем порядке существующих каналов, расчисткой кое-где мелей, небольшими работами по спрямлению излучин, устройством бечевников, отдельными изысканиями на реках и в их верховьях.

Продолжавшееся накопление знаний по гидрографии и гидрологии рек, наряду с указанными выше работами, было связано в этот период с устройством водохранилищ и водяных установок как энергетической основы мануфактурного производства, широко применявшихся, особенно в горнозаводском деле.

Продолжалось также географическое изучение страны, ее естественных богатств, в том числе и водных.

Одним из замечательных результатов деятельности Петра I было воспитание им большой плеяды сподвижников. Многие из

них проявили себя как передовые для своего времени представители научно-технической мысли.

Большой вклад в развитие методов использования водной энергии внес один из первых организаторов горнозаводского дела в различных районах России В. Геннин. Свой 12-летний опыт руководства гидроэнергетическим строительством на уральских и сибирских заводах он обобщил в 1735 г. в рукописи, известной под названием «Абрисы» и изданной лишь в 1937 г. Рукопись В. Геннина в течение почти 100 лет служила в качестве практического справочника при постройке заводских гидротехнических сооружений по плотинным схемам. Важно отметить, что гидротехники того времени создавали искусственные водохранилища для накопления запасов воды в многоводные периоды с целью покрытия недостатка притока в маловодные периоды, т. е. осуществляли сезонное регулирование стока. В связи с этим большое внимание уделялось выбору места постройки плотины. В. Геннин полагал, что в России, в связи с суровостью климата, можно применять только плотинные схемы заводских гидросиловых установок, т. е. он исключал возможность применения деривационных схем, при которых вода из водохранилища подводится к водяному колесу путем специального канала. Ошибочность этого мнения В. Геннина была убедительно доказана знаменитыми гидростроителями второй половины XVIII в. И. И. Ползуновым, К. Д. Фроловым, Д. Головиным и др., построившими на Алтае замечательные гидросиловые установки с деривационными каналами. Особенно выдающейся, изумлявшей инженеров XIX в. своей грандиозностью и высоким техническим уровнем, была гидросиловая установка, построенная в 80-х годах XVIII в. К. Д. Фроловым на Змеиногорском руднике.

Несомненно, что на многочисленных водохранилищах, действовавших в XVIII в., велись необходимые гидрометрические наблюдения, по крайней мере, измерения уровней.

Водомерные наблюдения на реках, начатые при Петре I, в последующие годы получили некоторое развитие. К 1726 г. относится первый указ об установке меток высоких вод¹. До конца века на реках страны было открыто несколько новых водомерных постов. В 1740 г. Академия наук устроила водпост

¹ Этот указ гласил: «Понеже в прошлом 1721 ноября 5 и нынешнем 1726 годах ноябрь ж 1 чисел от прибылой нечаянной воды за низкостью здесь в строениях обывателям есть не без разорения; того ради, сожалея о них, повелеваем: для опасности от такой же воды, всякое строение впредь кому где надлежит строить выше нынешней бывшей воды на фут; и для того везде на строениях поставить знаки, о чем в народе и в архитекторам объявить» (Полное собрание законов Российской империи, т. VII, § 4982).

для наблюдений за уровнями р. Невы у Васильевского острова².

Интересно отметить, что неизвестный автор только что приведенного нами в сноске описания академического футштока свою статью «О прибывании и убывании воды в Неве реке» начинает с указания на усиленное внимание, которое стали обращать на изучение «всего того, что до перемен погоды касаться может, дабы со временем возможно было в сей науке утвердить некоторые правила». Он говорит об измерении количества выпадающего снега и дождя, об изучении испарения (с суши и с воды) и других метеорологических явлений. Автор полагает, что колебание уровня воды в Неве зависит от перемен погоды, однако главной причиной этого колебания он считает ветер. По поводу цели наблюдений за уровнями говорится, что если колебание уровней «последует некоторым правилам, хотя оных не иначе, как через многие опыты и долговременное искусство найти можно, то со временем могут некоторые способы объявлены быть к отвращению случающегося от наводнений вреда». Таким образом, здесь высказывается мысль об организации прогнозов уровней.

В 1749 г. Академией наук был открыт водомерный пост на Мойке у Синего моста (Шретеровский футшток). Адмиралтейств-коллегией, ведавшей тогда гидрографической службой, были организованы водомерные посты: в 1752 г. — на обводном

² Нам кажется небезынтересным привести здесь следующее описание устройства и работы этого поста, известного под названием академического футштока: «Место к учинению оных обсерваций выбрано было на Васильевском острове, на берегу большой Невы реки, между седьмою и восьмою линиею, где перпендикулярно вколочен был свай, а к оному прибит деревянный масштаб, разделенной красною и зеленою масляною краскою на английские целые футы и полфуты, которые также на целые и полудюймы разделены были. Около сего столба утвержден был четверугольный ящик, шириною и вышиною в три аршина, дабы 1) волны по масштабу не били и не производили в обсервациях какой неисправности, 2) чтобы при великой воде можно было способно по доске к масштабу подходить и смотреть, в какой мере находится вода и 3) что также и в таком случае, когда вода ночью станет прибывать, заметно было, сколь высока она тогда стояла. Ибо тогда в оной ящик брошено было на воду несколько деревянных опилок, и вода потом прибыла, то оные опилки также поднялись, а после, приставши к масштабу, по убыванию воды с довольною исправности показывали, в какой мере вода находилась. От столба проведена была под ящик в реку труба шириною в три четверти аршина, которая так глубоко лежала, что вода никогда из нее не выветывала. Своею конною трубу проходила вода в двадцать две дюймы во оном никаких валов, показывала на масштабе весьма исправно вышину водной поверхности на том месте. Таким образом, примечано с 1 числа июня по последнее число октября каждый день поутру, а именно поутру, в полдень и ввечеру вышина речной поверхности, а когда особливой какой случай являлся, то, смотря по необходимости, делало и чаще оные обсервации» (О прибывании и убывании воды в Неве реке. Примечание к «Ведомостям» от 12 июня 1741 г., ч. 47 и 48, стр. 186) IV т. л. 144

канаше Главного адмиралтейства и на р. Сѣверной Двинѣ у Архангельска; в 1777 г. — на Фонтанкѣ у Калинкина моста; в 1792 г. — на Волгѣ у Астрахани. Сводки уровней, зафиксированных на этих постах, кроме опубликованных в свое время сведений о горизонтах высоких вод, к сожалѣнію, не сохранились. С середины XVIII в. были начаты спорадические наблюдения уровней на днепровских порогах³.

Пополнение гидрографических сведений о реках России происходило как путем экспедиционных исследований территории страны, так и путем рассылки на места анкет. Последний метод начал практиковаться еще при Петре I, по указу которого в 1724 г. были разосланы по стране вопросы. Предполагалось, что на основании ответов на них будет составлено географическое описание России. Ответы на вопросы легли в основу написанной в 1726—1727 гг. И. К. Кириловым работы «Цветущее состояние всероссийского государства...»; изданной (в двух книгах) только в 1831 г. Хотя эта работа относится скорее к сочинениям экономико-статистического содержания, в ней имеются сведения и гидрографического характера, сообщаемые обычно в связи с указанием географического положения городов. Так, например, говоря о Казани, Кирилов указывает, что «город стоит на Казанке-реке, а с другой стороны озеро Кабан; из которого вышла река Булак, и течет сквозь деревянное города, и впадет в Казанку-реку; да от города в 5 верстах Волга река»⁴.

Кирилов был автором и обширного географического атласа. На «Генеральной карте Российской имперіи», вошедшей в первый выпуск «Атласа», довольно подробно показана гидрографическая сеть всей страны.

К анкетному методу собиранія сведений прибегали также известный историк и географ В. Н. Татищев, Академия наук, Вольное экономическое общество.

В. Н. Татищев большое внимание уделял вопросам гидрографии и гидрологии, с которыми он сталкивался как географ и как руководитель горнозаводского дела на Урале и в Сибири (в 1720—1723 и 1734—1737 гг.). Высказывания В. Н. Татищева по некоторым вопросам гидрографии и гидрологии нашли отражение в его географических сочинениях; и прежде всего в важнейшем из них — «Лексиконе Российском историческом, географическом, политическом и гражданском», составленном в алфавитном порядке.

В этом незаконченном энциклопедическом словаре (он доведен до слова «ключник») В. Н. Татищев сообщает сведения о

³ Н. И. Дрозд и Г. И. Швец. Уровни р. Днепра у Лоцмано-Каменки. «Известия Ин-та гидрологии и гидротехники АН УССР», т. 13, 1955.

⁴ И. К. Кирилов. Цветущее состояние всероссийского государства, кн. 2. М., 1831, стр. 8.

многих реках, ручьях и озерах, а также некоторых морях. Обычно эти сведения касаются происхождения названий водных объектов, протяженности рек и иногда особенностей их течения. Приведем для примера почти полностью описание Волги: «Волга река в России есть величайшая река в Европе; началась в уезде Белой из многих малых озер и болот истекает и продолжается более 3000 верст, приняв многие великие реки, впадает близ Астрахани, между множеством островов, в море Каспийское. Древние писали ее к морю 70 протоков, и есть ли считая от Астрахани до моря, то может и более островов и малых протоков соберется, да прямо исчислит не можно, ибо когда в море вода малая, тогда островов более, а когда велика, то многие потопляет, однакож, как по описанию известно, к самому морю только 23 протока. Имя сие сарматское, значит — ходовая или судовая, по которой большие суда, или паче торговые ходят, но оное не далее как до устья Оки, а ниже именовалась от сармат Раа, еже значит обилие. По пришествии ко оной татар в начале 13 ста названа от них Идель, Адель и Эдель, все сии имена татарские и арабские, значит — обилие, привольство и милостивая, и сие ей имя весьма приличное... она способною к судовому ходу началась при монастыре Селижаровском, где с левой стороны из озера Селитера пришла малая Селижар...»⁵. В своем лексиконе В. И. Татищев указывает, что географию составляют две части: география суши и география вод, т. е. «гидрография, или воде описание».

Большой интерес был проявлен Татищевым к вопросу об изменении уровня Каспийского моря. Неправильно допуская наличие в заливе этого моря Кара-Богаз-Голе «подземной пучины», через которую вода может уходить в другие моря, Татищев вместе с тем указывает на «другое обстоятельство сего моря, весьма прежде неизвестное, что в нем вода через 30 или 35 лет прибывает и через столько ж убывает, но некоторые сказывают, что тоя прибыли в море сажан на 5 или на 6, т. е. около 40 футов аглинских бывает»⁶. Относительно причин изменений уровня Каспия В. И. Татищев склонялся к объяснению этих изменений колебаниями климата. Так, он писал: «если не обманываются обыватели (которые не имея ни какой науки, легко погрешить могут), яко бы при высокой воде в море стужа, а при низкой жары около одного умножаются» (там же, стр. 185).

Наиболее важными экспедициями рассматриваемого периода были экспедиции, имевшие главной целью решение вопроса о том, соединяются или разделены водой Азия и Америка, и сле-

⁵ В. И. Татищев. Лексикон, ч. I. СПб., 1793, стр. 267.

⁶ Там же. ч. III, стр. 184.

довательно, существует ли, как говорил Петр I, «дорога через Ледовитое море в Китай и Индию». Вместе с тем на экспедиции возлагалась задача исследования и описания северо-восточной окраины страны, особенно Камчатки, почему они и получили название Первой и Второй камчатских экспедиций. Первой камчатской экспедицией под руководством В. Беринга было доказано существование пролива между Азией и Америкой, соединяющего Северный Ледовитый и Тихий океаны (Берингов пролив).

Но особенно плодотворной была Вторая камчатская, или Великая северная, экспедиция, возглавлявшаяся также В. Берингом. За 10 лет работы (1733—1743) экспедиция произвела съемку и описание северных берегов России и собрала исключительно ценные сведения о природе Сибири и Камчатки. Экспедицией была организована сеть станций для наблюдения за метеорологическими явлениями, в частности велись наблюдения за вскрытием и замерзанием рек. И. Гмелиным было произведено обследование Байкала. Участник экспедиции, будущий академик С. П. Крашенинников, в результате двенадцатилетних исследований создал опубликованный в 1755 г. классический труд «Описание земли Камчатки», в котором впервые сообщаются подробные сведения также и по гидрографии полуострова. Им производилось исследование берегов рек Енисея, Лены, Витима, Баргузина. Течения сибирских рек описывал также участник экспедиции Г. Миллер.

В организации и проведении Второй камчатской экспедиции активное участие, наряду с сенатом и адмиралтейств-коллегией, принимала Академия наук.

Другим очень важным делом, выполненным Академией наук в 1745 г., является составление и издание Географическим департаментом Академии нового географического атласа из 19 карт с «Генеральной картой Российской империи». Эта карта имела уже довольно полную гидрографическую нагрузку с изображением направлений рек, достаточно близким к действительности. Работа по дальнейшему уточнению академического атласа 1745 г. в значительной степени связана с деятельностью великого русского ученого М. В. Ломоносова (1711—1765).

М. В. Ломоносов, заложивший основы многих наук, большое внимание уделил познанию природы своей страны, в том числе ее гидрографическому исследованию. В своих сочинениях он оставил ценные результаты научных трудов и теоретических размышлений, относящихся к одной из наиболее любимых им отраслей знания — гидрологии и непосредственно связанным с нею другим областям науки и техники: метеорологии, гидравлики, гидотехники.

Мысли Ломоносова в области метеорологии нашли отражение в таких выдающихся его работах, как «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих» (1753), «Рассуждение о большей точности морского пути» (1759), «О вольном движении воздуха, в рудниках, примечанном» (1763).

В первой из указанных работ М. В. Ломоносов развивает мысль о вертикальных перемещениях воздушных масс в связи с температурными процессами в атмосфере, о влиянии восходящих и нисходящих течений воздуха на погодные явления (морозы, оттепели) и электрические (грозы).

Во второй работе, говоря о важности для земледельца и мореплавателя предвидения погоды, Ломоносов указывает, что «сего всего от истинной теории о движении жидких тел около земного шара, то есть воды и воздуха, ожидать должно».

Любопытно высказывание Ломоносова в его сочинении «О слоях земных» (1763) о том, что «в рудники и жилы воды из гор самих с минералами вытекают» и что, по опыту рудокопов, «в сухие и бездождевые годы минеральные воды в рудниках не так одолевают, как в дождливые»⁸. В этом же сочинении Ломоносов по поводу питания рек говорит, что «течение великих рек требует великого земель пространства, откуда бы водам довольно собраться можно было»⁹. В другом месте он указывает на факт ледникового питания рек. Если объединить высказывания Ломоносова, касающиеся отдельных стадий круговорота воды, то станет несомненным достаточно ясное представление им взаимосвязи подземных и поверхностных вод и общего круговорота воды в природе. Вместе с тем Ломоносов понимал и причины этого круговорота, связанные с теплообменными процессами на земном шаре, о чем он говорит как в «Рассуждении о большей точности морского пути», так и в «Кратком описании разных путешествий по северным морям и показании возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» (1763). В последней работе, отметив, что «главная теория теплоты и стужи... требуют пространного изъяснения; и здесь ненужны», Ломоносов кратко излагает эту теорию в следующих словах: «И когда студеной зимней воздух поверхность океана анобит морозами, тогда верхняя вода становится студенею исподней, следовательно, пропорционально тяжелее; отчего по гидростатическим законам по разной тягости верхняя кожду опускается, нижняя встает кверху, принятую теплоту от талого льда с собою возводит и оную лежащему на поверхности воздуху сообщает. И по сему недивно, что зимним временем морские

М. В. Ломоносов. Сочинения, т. V. СПб., 1902, стр. 74.

Там же, т. VI. Л., 1934, стр. 266.

⁹ Там же, стр. 346.

ветры, оттепель, а с матерой земли веющие с собою приносят морозы»¹⁰. К более подробному изложению «теории теплоты и стужи» Ломоносов не возвращался.

Об интересе М. В. Ломоносова к метеорологии мы знаем также из его письма Л. Эйлеру, которому он писал в феврале 1754 г.: «Возвожу плотину и мельницу хлебную и лесопильную; на верху ея будет устроена самопишущая метеорологическая обсерватория, описание которой вынесу на суд публики настоящим летом».

Много трудился Ломоносов над созданием метеорологических приборов, в результате чего им были сконструированы анемометр, морской барометр, аппарат с пружинным заводом для подъема в верхние слои атмосферы самопишущего термометра. Он настойчиво добивался организации метеорологического изучения страны путем создания сети метеорологических обсерваторий, оснащенных самопишущими приборами.

Всестороннему изучению родной страны, ее неисчислимых естественных богатств, в том числе и водных, М. В. Ломоносов придавал первостепенное значение. Понятен поэтому тот постоянный интерес, который проявлял Ломоносов к деятельности организованного в 1739 г. в составе Академии наук географического департамента.

Известно, что академический атлас 1745 г. имел много неточностей и ошибок и Академия наук должна была вскоре после его выхода в свет провести работу по внесению в атлас необходимых исправлений.

Естественно, что этот труд мог увенчаться успехом только в результате нового, более широкого и научно организованного изучения страны. Важным элементом этого изучения должны были явиться гидрографические исследования, диктовавшиеся насущными хозяйственными нуждами, и прежде всего необходимостью более широкого использования рек как путей сообщения в связи с ростом перевозок грузов. Совершенно недостаточную в то время степень изученности даже крупнейших водных артерий и неотложности больших исследований в этой области можно показать на таком факте.

В конце 1758 г. сенат обратился к Академии наук с требованием сообщить сведения о Волге с притоками «с описанием глубины в самую большую, посредственную и меньшую воду, крутость и пологость берегов, и где она по низкости их так различается, что настоящей глубины иметь не может, и в коих же местах как беспрерывно и по случаям бывают мели, и как велики и от чего то происходит и о прочем, что до навигации следует, также и о реках Медведице, Дону, Хейре и Донце и

¹⁰ Там же, стр. 330.

какие по оным суда в какое время и с каким грузом ходить могут...»¹¹.

М. В. Ломоносов, которому в марте 1758 г. президентом Академии наук К. Г. Разумовским было поручено «особливое рассмотрение» за деятельностью географического департамента, ответил сенату, что академия не имеет и не может иметь таких сведений; при этом он указывал, что «Рен [Рейн] река, которая против Волги едва десятою долею сравниться может и протеканием по земли, которая академиями издавна наполнена, не описана таким образом, ибо к тому требуется много знающих людей, иждивения и времени»¹².

Из этой переписки мы видим, между прочим, осведомленность Ломоносова о состоянии гидрографических исследований за границей, находившихся в то время далеко не на высоком уровне.

В 1760 г. географический департамент разослал на места анкету, содержащую различные вопросы географического и хозяйственного характера, «для сочинения вновь исправнейшего Российского атласа». Всего было разослано по стране 600 анкет, содержащих 30 вопросов, в том числе следующий (16-й) гидрологический вопрос:¹³ «В которую пору по большей части реки при городах замерзают и выходят, и где бывают вешние и осенние наводнения, и как велики». Между прочим, анкетный метод сбора гидрологических сведений был возобнов-

¹¹ Ломоносов. Сборник статей и материалов. М.—Л., 1940, стр. 260.

¹² Там же.

¹³ В анкету включены были также следующие вопросы, имеющие прямое отношение к выяснению гидрографии страны (М. Боднарскай. Ломоносов как географ. М., 1912, стр. 7):

«7. Какие где по городам, или по селам, фабрики или рудные заводы и в каких от городов расстояниях и при каких реках?..

9. Где есть водяные мельницы с надлежащими плотинами, пильные или хлебные, и на каких водах именно?..

11. По оным мест рекам какие суда ходят по весне и в межень?

13. У рек, по коим есть судовой ход, на которой руке, вниз считая, лежит нагорная сторона и на которой луговая?

14. По рекам, где ходят суда с товарами, не бывают ли где препятствия от подмытых дерев с берегов весною или от летней пересухи?

15. Где по рекам есть пристани купеческие, из коих мест на оные с грузом приезжают, и до которых мест сплавливают, и порожние суда назад обращаются ли?..

17. Где есть переволоки, через кои, с одной реки на другую, товары сухим путем переводят, и при каких урочищах; дорога лежит по каким местам, гористым или ровным, и на сколько верст?

18. При дорогах, по которым ездят из какого города в ближние соседние города, какие в деревнях церкви, или где есть монастыри, где мосты, перевозы и через какие реки именно, и где дороги лесами, полями, горами или водами и в каких расстояниях смежные города?..

27. Так же показать, где есть следы старых рек, которые ныне заросли и высохли, в которую сторону простираются и как ныне называют?»

лен Академией наук в 1908 г., после катастрофических наводнений на реках Европейской России, и просуществовал вплоть до 1935 г.

Осенью 1764 г. М. В. Ломоносовым был подан К. Г. Разумовскому проект организации географических экспедиций с инструкцией для них. В инструкции указывалось на необходимость «записывать метеорологические наблюдения», а также «для будущей впредь пользы от метеорологии примечать... людей любопытных и им раздавать (особливо постоянным церковникам) метеорологические инструменты»¹⁴. Инструкцией вменялось участникам экспедиций: «Проезжая от места до места по дороге водою и по суку, записывать натуру мест», в том числе отмечать «устья впадающих рек и повороты знатные»¹⁵.

В области гидрологии много интересных и ярких мыслей высказано М. В. Ломоносовым об эрозийных процессах, связанных с работой рек, а также с действием на поверхность суши атмосферных осадков. В своем знаменитом сочинении «О слоях земных» Ломоносов, разделяя причины, действующие на «недро земное», на внешние и внутренние, к числу первых относит «сильные ветры, дожди, течения рек, волны морские, льды, пожары в лесах, потоны»¹⁶.

Процесс формирования речного русла, рассмотренный Ломоносовым, правда, лишь в общих чертах, связывается им с воздействием на русло текущей воды, особенно в период весенних половодий.

Интересно, что внимательный исследователь природы Ломоносов заметил явление несимметричности поперечного профиля больших рек, объясненное спустя почти сто лет К. М. Бэрром. В «Кратком описании разных путешествий» М. В. Ломоносов писал: «Когда течение знатных рек рассмотрим, везде почти найдем, что одна сторона у них нагорная, другая луговая, т. е. одна состоит из берегов крутых и высоких, другая из низких песчаных и луговых мест; а следовательно оные реки, с одной стороны приглубы, с другой отмелы»¹⁷.

Рассматривая поверхность земли не как нечто неизменное, а как находящуюся в процессе непрерывного изменения, главным фактором этого изменения (рельефообразования) М. В. Ломоносов считает текущие воды, которые «великую перемену причиняют на земной поверхности». «Равные места, — отмечает Ломоносов, — бывают луга, пески, степи или болота.

¹⁴ Билярский. Материалы для биографии Ломоносова. СПб, 1865, стр. 677.

¹⁵ Там же, стр. 678.

¹⁶ М. В. Ломоносов. Сочинения, т. VII, стр. 201.

¹⁷ Там же, стр. 344.

Сии места лежат по большей части при берегах и устьях широких рек, куда их речная быстрина своим стремлением наведет, или в больших долинах, куда их дождем и ручьями с окололежащих гор намыло»¹⁸.

М. В. Ломоносовым дана первая классификация морских льдов, в основном совпадающая с существующей в настоящее время. Некоторое различие в Ломоносовской и нынешней классификации объясняется тем, что Ломоносов придерживался общераспространенного в то время неправильного взгляда, будто соленая океанская вода не замерзает, и происхождение морских льдов в основном объяснял выносом в океан льдов, образующихся в реках. О процессе образования льда в пресных водоемах Ломоносов писал: «Пресная вода замерзает сверху к низу, и чем мороз сильнее и долее действует, тем лед становится толще. В Сибири малые реки нередко до дна промерзают»¹⁹.

Считая механику твердых и жидких тел «высокой наукой», М. В. Ломоносов стремился внести свой вклад и в эту область знания. В отчете за 1754 г. Ломоносов писал: «Деданы опыты при пильной мельнице в деревне, как текущая по наклонению вода течение свое ускоряет и какою едлою бьет»²⁰. В «Первых основаниях металлургии, или рудных дел» Ломоносов дает описание гидравлических машин, «которыми из рудников воду выливают».

Как в любом деле, которого касались ум и руки Ломоносова, так и в гидротехнике он показал себя искусным специалистом. Об этом с неоспоримостью свидетельствует описание плотины, которую построил Ломоносов на своей Усть-Рудицкой стекольной фабрике (под Петербургом).

Плотина длиной в 30 сажен и высотой в 4,5 сажени, «со слюзами и воротами», была «утверждена на крепких пилюнтовых сваях». На плотине была поставлена мельница на три колеса для пильных рам, для «машин, которыми молот, толочь и мешать материалы, в стекло потребные» и для «молотья хлеба, на котором содержать фабричных людей». Несомненно, что для устройства такого сложного по тому времени комплекса сооружений необходимо было обладать хорошим знанием того опыта водного строительства, который накапливался в России на протяжении ряда веков.

Своими передовыми научными идеями и многими новаторскими практическими начинаниями, направленными «к пользе и славе» родины, М. В. Ломоносов оказал огромное влияние на

¹⁸ М. В. Ломоносов, Сочинения, т. VII, стр. 57.

¹⁹ Там же, стр. 337.

²⁰ Ломоносов, Сборник статей и материалов. М.—Л.: 1940, стр. 227.

развитие отечественной науки и техники, в том числе и на развитие гидрологических знаний.

В стенах Петербургской Академии наук, где развивалась творческая деятельность М. В. Ломоносова, в рассматриваемый период создали свои выдающиеся труды, заложившие теоретические основы гидравлики, знаменитые ученые Д. Бернулли (1700—1782) и Л. Эйлер (1707—1783).

Публикуя свой труд в Страсбурге в 1738 г., уже после отъезда из России, Бернулли счел необходимым подчеркнуть, что его «Гидродинамика» — «академический труд, выполненный автором во время его работы в Петербурге». В этом труде Д. Бернулли, рассматривая установившееся движение идеальной жидкости, дает уравнение, связывающее для линии тока высоту положения, давление и скорость движения:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const.}$$

В опубликованной в 1755 г. работе «Общие принципы движения жидкости» Л. Эйлер впервые дает систему основных дифференциальных уравнений гидродинамики идеальной жидкости, распространенных позже Л. Навье и Д. Стоксом на движение реальной жидкости.

К числу созданных у нас в это время географических работ, имевших важное значение в деле гидрографического изучения страны, относится опубликованная в 1762 г. замечательная монография П. И. Рычкова «Топография Оренбургская...».

В этом капитальном труде содержатся ценные сведения о реках огромной территории площадью 4 млн. км². П. И. Рычковым описаны также «знатнейшие реки», как Волга, Кама, Яик (Урал), Эмба, Сыр-Дарья, Сары-су, Ишим, Тобол, Белая и др. В своих кратких описаниях рек автор сообщает наиболее существенные данные о них. Например, о р. Эмбе говорится; «Эмба, вершины ее в Киргис-Кайсацкой степи под 49 градусом ширины, из Мугалжарских гор, не подалеко от Орских вершин, впадает прямо в Каспийское море. В вершинах ее есть довольно бродов, и течет по камню, но что ниже, но что глубже становится, течет по песку и бродов уже не имеет. Шприна ее сажен на тридцать, а инде и многим шире...»²¹.

Несмотря на то, что характеристики рек ограничиваются преимущественно сведениями обзорного характера, их ценность для того времени была, несомненно, исключительно большой.

Вслед за реками П. И. Рычков описывает озера края, а затем Каспийское и Аральское моря. Однако в описании этих морей он почти буквально повторяет В. Н. Татищева, разделяя

²¹ П. И. Рычков. Топография Оренбургская, то-есть: обстоятельное описание Оренбургской губернии, ч. 1 и 2. СПб., 1762, стр. 224.

и его ошибочное мнение о соединении их подземными протоками с другими морями. Относительно попытки Д. Перри определить водный баланс Каспийского моря П. И. Рычков скептически замечает, что «оное более за хитрость и остроумие, нежели за истинну, принять можно»²², между тем подход Д. Перри к решению вопроса о колебании уровня Каспийского моря был правильным, научно обоснованным, хотя он и допустил ошибку в определении объема притока в море.

Автор «Топографии» сообщает немало ценных гидрометеорологических сведений, в частности об осадках и снежном покрове.

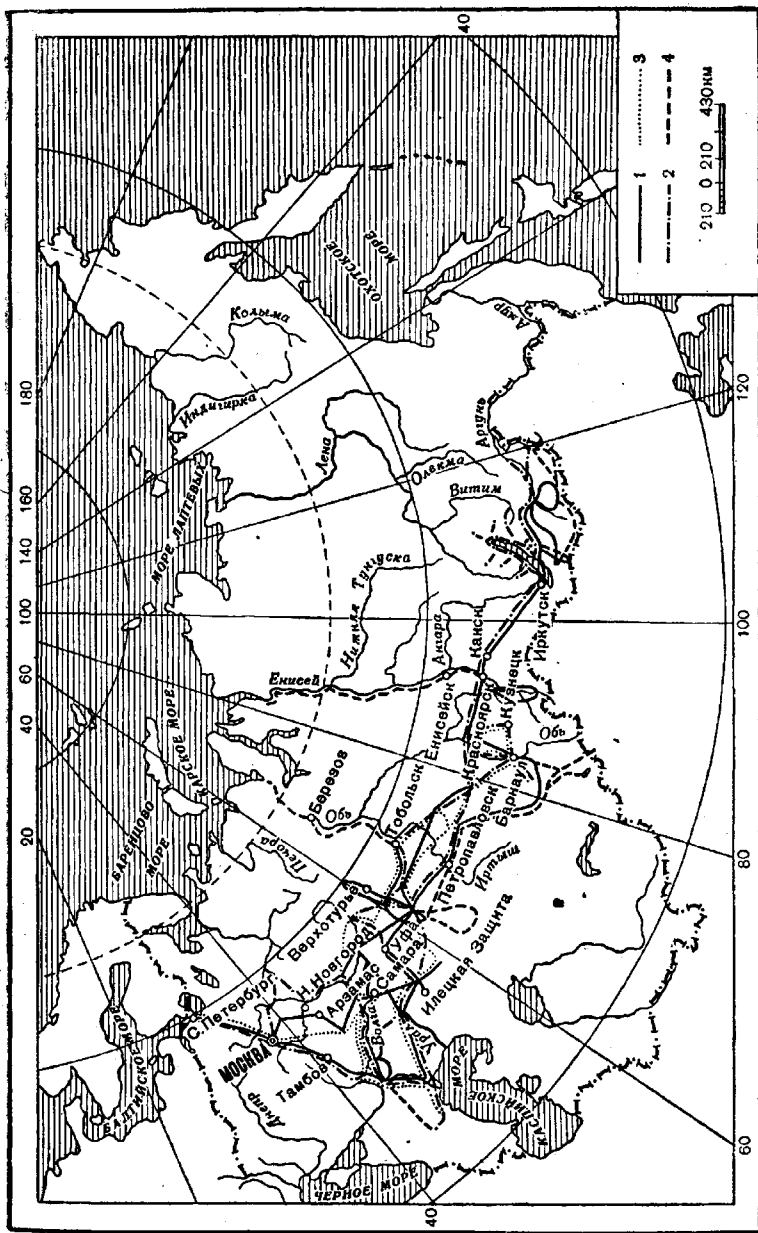
Значительным вкладом в географическую литературу явился вышедший на русском языке в 1739 г. и переизданный в 1764 г. труд академика Г. В. Крафта «Руководство к математической и физической географии». В главе «О гидрографии», рассматривая различные мнения о происхождении источников и рек, автор высказывает правильное представление о круговороте воды.

Мы уже говорили, что в 1773 г. известный просветитель Н. И. Новиков впервые издал «Книгу Большому Чертежу», отразившую итог географического и гидрографического изучения страны к концу первой четверти XVII в. В предисловии к этому изданию Н. И. Новиков писал, что он предпринимает его «паче всего для обличения несправедливого мнения тех людей, которые думали и писали, что до времен Петра Великого Россия не имела никаких книг, кроме церковных, да и то будто только служебных»²³.

Ценным изданием того времени, содержащим большой гидрографический материал, является вышедший в 1773 г. в Москве «Географический лексикон Российского государства...» Ф. А. Полунина под редакцией и с предисловием Г. Ф. Миллера. В этом словаре на 480 страницах убористого текста даются сведения о реках, озерах, морях и других географических объектах, основанные на материалах исследования страны вплоть до начала больших академических экспедиций (1768). В словаре Полунина широко, причем иногда буквально, использованы описания, данные Татищевым в его «Лексиконе», но, конечно, в нем отражены и определенные достижения в изучении страны за 25-летний период, разделяющий годы составления лексиконов Татищева и Полунина. Так, например, в статье о Каспийском море мнение прежних ученых о «пучине» в Кара-Богаз-Голе представляется как ошибочное, а попытки определения «сметы» (водного баланса) моря уже не вызывают скептического отношения.

²² П. И. Рычков. Топография Оренбургская..., стр. 205.

²³ Древняя Российская гидрография. СПб., 1773.



Маршруты участников академических экспедиций 1768—1774 гг. (заимствовано у Д. И. Гордеева):

1 — П. С. Паллас; 2 — И. Г. Георги; 3 — И. П. Фальк; 4 — самостоятельные маршруты отдельных сотрудников экспедиции

«Географический лексикон» Ф. А. Полунина явился основой изданного в 1788—1789 гг. шеститомного «Нового и полного географического словаря Российского государства». Он же составил ядро вышедшего в семи частях в 1801—1809 гг. «Географического словаря Российского государства» А. М. Щекатова. Оба эти словаря, как указывается в их полных названиях, описывают местности России также и «гидрографически». В предисловии к первой части последнего словаря отмечается, что при его составлении были использованы материалы академических экспедиций Гмелина, Палласа, Лепехина, Озерецковского «и прочих, которых труды останутся незабвенными для потомства».

Весьма вероятно, что при составлении указанных географических словарей были использованы также материалы, собранные Вольным экономическим обществом, на роли которого, наряду с Академией наук, в гидрографическом изучении страны мы остановимся ниже.

Исследование страны путем снаряжения специальных экспедиций, проводившееся еще Петром I, получило особенно широкий размах в 1768—1774 гг. Интересы дальнейшего развития мануфактурного производства и торговли — внутренней и внешней — требовали несложных мер по широкому изучению естественных богатств страны, в том числе и водных. 1768—1774 годы вошли в историю русской географии, да и в историю русской науки вообще, как «эпоха академических экспедиций». В эти годы Академией наук был организован ряд «физических» экспедиций, впервые охвативших всесторонними обследованиями по намеченному плану почти всю территорию России, хотя две общие экспедиции, объединившие шесть отдельных экспедиций, формально назывались Оренбургской и Астраханской. В первую входили экспедиции, возглавлявшиеся П. С. Палласом, И. П. Фальком, И. И. Лепехиным и И. Г. Георги. Вторая делилась на две экспедиции, во главе которых стояли С. Г. Гмелин и И. А. Гильденштедт.

Экспедиции Академии наук собрали исключительно ценный материал о природе, хозяйстве и населении страны. Труды участников экспедиций многое было добавлено также и к сведениям по гидрографии и гидрологии страны.

Экспедиция П. С. Палласа (1768—1774) произвела обследование огромной территории, включающей Нижнее и Среднее Поволжье, Оренбургский край, Сибирь и Забайкалье.

Ценнейшие сведения, собранные П. С. Палласом, изложены им в обширной монографии «Путешествие по разным провинциям Российской империи в 1768—1773 гг.», изданной в трех частях (пяти книгах) в 1773—1788 гг. Следуя в своем путешествии от одного населенного пункта к другому, Паллас указывает, на каких реках они стоят, и дает описание самих рек, то



Маршруты участников академических экспедиций 1768—1774 гг.
(заимствовано у Д. И. Гордеева).

1 — И. И. Лепехин; 2 — С. Г. Гмелин; 3 — И. А. Гильденштедт; 4 — самостоятельные маршруты отдельных сотрудников экспедиций.

менее, то более подробное. Только в первой части его «Путешествия» названо более 160 рек и речек. При описании рек обращается внимание на направление течения, протяженность, ширину и глубину реки, скорость течения воды, строение берегов и дна, качество воды (степень мутности). Приведем для примера описание Еруслана (левого притока Волги в ее нижнем течении). «Берега и дно сея реки,— пишет Паллас,— песчаны и вода очень чиста. Быстрота сея реки посредственна, а глубина переменна, иногда до трех и четырех аршин и свыше, так, что в разных местах находятся удобные броды через всю реку, исключая весеннее время, в которое сказывают, вода в ней имеет нарочитое возвышение. Величайшая ширина ее простирается до 15-ти сажен»²⁴.

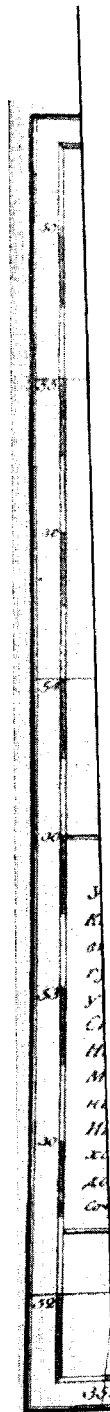
Паллас подмечает определенные особенности в режиме и в работе рек. Так, на Яике ему бросается в глаза, как эта река «землю, которую она по малу отрывает у высокого берега, относит к другому напротив лежащему низкому берегу»²⁵. Что касается скорости течения и водоносности рек, то измерения их не проводилось, и это относится ко всем академическим экспедициям тех лет.

Большой интерес представило отдельное путешествие участника экспедиции Палласа Н. П. Рычкова (сына П. И. Рычкова) по маршруту, длиной свыше 3600 верст, проходившему главным образом по Волге, Каме, Белой, Вятке и другим рекам Приуралья. В сочинении Н. П. Рычкова «Журнал или дневные записки путешествия по разным провинциям Российского государства», изданном в 1770 г. с продолжением в 1772 г., мы находим интересные и обстоятельные сведения о многих реках. Как показывает приведенная карта, гидрография исследованного Н. П. Рычковым обширного края была изучена им подробно. У Н. П. Рычкова имеются описание и карта «местам, соединяющим реку Каму с реками Печорою и Двиною, по которым древние болгары отправляли знатные купеческие торги с народами, жившими в пределах Северного окияна». При описании Воткинского железодельного завода Н. П. Рычков обращает внимание на питание р. Вотки путем попусков из заводского водохранилища. Он пишет²⁶: «Река Вотка весьма посредственной ширины и глубины, но способ, который употребляют для сплавки судов, делает ее на все способную. Когда суда совсем будут нагружены железом, тогда воду заводского пруда спускают, ко-

²⁴ П. С. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российской империи в 1768—1773 гг., ч. III, кн. 2. СПб., стр. 224.

²⁵ Там же, ч. I, стр. 555.

²⁶ Н. П. Рычков. Журнал или дневные записки путешествия по разным провинциям Российского государства 1769 и 1770 году. СПб., 1770, стр. 178.





Гидрографическая карта территорий, обследованных Н. П. Рыковым

торая, распространяясь по окрестным местам, умножает глубину реки, а суда бывают влекомы быстрою из пруда выпущенных вод».

Другим участником экспедиции Палласа, студентом В. Ф. Зуевым, впоследствии академиком, была совершена самостоятельная поездка по Оби и Енисею.

Районами деятельности экспедиции И. В. Фалька (1769—1773) были Астраханская и Оренбургская губернии, Среднее и Нижнее Поволжье, Западная Сибирь, Южный Урал, предгорья Северного Кавказа. Его «Записки путешествия» также составлены на гидрографической основе и содержат много интересных описаний рек обследованных районов. При описании Оби И. П. Фальк пользуется найденными в Барнауле местными картами этой реки, «которые гораздо вернее и подробнее других», и потому он считает, что его описание «может служить частью дополнением к сибирской гидрографии». В «Дополнениях гидрологических к «Запискам» И. П. Фальк дает подробную классификацию естественных вод, правда, в научном отношении еще весьма несовершенную.

Экспедиция И. И. Лепехина (1768—1773) охватила обследование Среднее и Нижнее Поволжье, Урал, северную часть Европейской России. В своих «Дневных записках путешествия по разным провинциям Российского государства» И. И. Лепехин сообщает весьма ценные сведения по гидрографии. Его меткие описания касаются преимущественно малых и средних рек и озер, а также ключей, запруд, водяных мельниц.

Из частных поездок участников этой экспедиции большую ценность представляла поездка на Кольский полуостров и по побережью Белого моря и Ледовитого океана, которую совершил в 1772 г. студент Н. Я. Озерецковский, будущий академик. В 1785 г. он провел также рекогносцировочное обследование озер Ладожского, Онежского и Ильменя, а позже побывал на верневолжских озерах и в низовьях Волги.

Экспедиция И. Г. Георги (1768—1771), наряду с изучением районов Сибири, имела главной целью обследование Байкала.

Участник экспедиции Георги А. Пушкарев сделал в 1772—1773 гг. первую гидрографическую съемку Байкала и составил карту этого озера в масштабе 10 верст в 1 дюйме. Укажем здесь, что в конце XVIII в., именно в 1797 г., гидрографические работы на Байкале с промером глубин его южной части были произведены С. Сметаниным и Е. Копыловым²⁷, причем максимальные глубины, измеренные с очень большой для того времени точностью, оказались равными 1100—1234 м.

²⁷ В. В. Ламакин. Исследования Южно-Сибирского водного пути в конце XVIII века. «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», т. 3. М., 1955.

Работы экспедиции С. Г. Гмелина (1768—1774) проводились в районах Дона — от Воронежа до устья реки, в Нижнем Поволжье и в Персии. Экспедиция И. А. Гильденштедта (1768—1774) обследовала верховья Дона, Нижнюю Волгу, Северный Кавказ, Закавказье, часть Украины. Обе эти экспедиции также доставили много новых сведений по гидрографии и гидрологии.

Участники экспедиции собрали огромный фактический материал; в своих трудах они стремились выяснить связь и взаимозависимость явлений природы. Основываясь на фактических наблюдениях, Паллас, Лепехин, Гмелин высказывают соображения по вопросу о круговороте воды в природе. Так, Лепехин, рассматривая конкретный факт питания Белой, вытекающей из гор, пишет: «Все уральские истоки из высоких мест и из гор, болотины представляющих, начало свое имеют; почему неотменно нужно теперь сказать: откуда на вышину гор вода забирается». Отмечая, что «о сем ученые люди различно думают», И. И. Лепехин говорит, что «гора Ирямяль многие показывала доводы, чтобы утвердиться на мнении тех, которые морским парам, производящим источники рек, воздушную определили дорогу. Они думают, что морская вода, поднявшись парами, носится по всему земному шару, которые, дошед до угористых мест, опускаются как в холодном месте, и скопяся составляют вершины рек»²⁸. Что касается равнинных рек, то они, по мнению И. И. Лепехина, также питаются горными водами, приходящими в низины подземными путями. Такое же высказывание о круговороте воды мы находим у П. С. Палласа. Большие запасы воды в горах Южного Урала он объяснял так: «Всеконачно главная сему причина — ход облачных туманов и вздымающихся паров, которые к сим лесистым на высоком месте лежащим и сверх того еще другими великими холмами возвышенным горам течение свое имеют; следственно, и то не удивительно, что сии горы не только много источников и ручьев раждают, но и многие свои подземельных вод сокровища на лежащую к востоку равнину изливают»²⁹.

Вопрос о круговороте воды обсуждался также в связи с режимом уровня воды в Каспийском море. Относительно водного баланса Каспийского моря были высказаны различные мнения. «Фисики и философы, — писал Лепехин, — ломают и по сие время свою голову, дабы изъяснить, каким образом Каспийское море, принимая в себя воды толь многих и великих рек и не имея никакого явного сообщения с другими морями, без оче-

²⁸ И. И. Лепехин. Дневные записки путешествия, ч. II, СПб., 1771, стр. 145.

²⁹ П. С. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российской империи..., ч. II, кн. 1, стр. 92.

видной прибыли быть может»³⁰. Он становится на сторону тех, кто ошибочно полагал, что вода уходит из моря через «подземные проходы». С. Г. Гмелин в главе «О Каспийском море вообще» писал: «...весьма справедливо, что по всеобщим законам природы почти столькож из нево воды парами выходит, столько от знатного числа отвсюду втекающих больших, посредственных и малых рек получает, и сие самое происхождение паров как опять в реки превращается, так по свойству ветров в ближайших горах пропадает, и в дожде, снеге, росе, тумане и прочем оказывается»³¹. Вместе с тем он считал, что часть воды отводится из моря «через подземельные каналы». Правильный взгляд относительно водного баланса Каспийского моря был высказан П. С. Палласом, который, отвергая существование «подземельных протоков», считал, что уровень моря зависит только от притока в него речных вод и от испарения с его поверхности. В доказательство невозможности расходования Каспийским морем воды подземным путем Паллас приводил то простое соображение, что его уровень стоит ниже уровня океана.

Академические экспедиции 1768—1774 гг. сыграли выдающуюся роль в гидрографическом и гидрологическом изучении нашей страны.

В академических экспедициях 1768—1774 гг. нашла осуществление идея М. В. Ломоносова о широких мероприятиях по изучению природы и экономики России. В значительной степени в результате его же заботы о развитии в стране сельскохозяйственных знаний возникло в 1765 г., в год смерти Ломоносова, «Вольное экономическое общество к поощрению в России земледелия и домостроительства». В «Трудах» Общества, начавших выходить в год его создания, стали систематически обсуждаться гидрологические вопросы, особенно в связи с необходимостью мероприятий по осуществлению ирошению земель. На одном из первых же своих заседаний Общество утверждает анкету из 65, главным образом экономических, вопросов, которую публикует в первом томе «Трудов» и рассылает на места. В анкете были также вопросы, касающиеся осушения земель, в частности с целью развития травосеяния, а также вопрос по судоходству на местных реках, причем требовалось сообщить, «сколько глубоко какое судно идет в воде».

Вторично вопросный метод сбора сведений Вольное экономическое общество применило в 1790 г., когда оно разослало по стране анкету с подробной программой описания России. Гидро-

³⁰ И. И. Лепехин. Указ. соч., стр. 519.

³¹ С. Г. Гмелин. Путешествие по России для исследования всех трех царств в природе, ч. 3, половина 2-я. СПб., 1785, стр. 337.

графин в этой программе отводился специальный раздел «О водах», который заключал в себе следующие вопросы ³²:

О ключах и примечаниях достойных вещей при оных.

О ручьях, их источниках, течении, берегах и устьях.

О мучных, пильных, бумажных и других мельницах, о фабриках и проч., к действию которых воды споспешествуют.

О реках и речках, их источниках, течении в устьях. Судноходны ли они? О порогах, островах, наводнениях, мостах, пристанях и проч. Об употребляемых на них судах.

Об озерах, их величине, глубине, берегах, реках, впадающих в оные и из оных вытекающих.

О морских берегах и гаванях.

При этом предлагалось по каждой статье сообщать «о доброты и свойствах вод, о рыбной в них ловле».

В разделе «О климате» запрашивались сведения «о времени замерзания вод и прохождении льда».

До 1813 г. были получены описания, по программе Общества, Полоцкой, Ярославской, Московской, Астраханской, Кавказской, Волынской, Пермской, Курляндской, Тульской, Иркутской и некоторых частей Костромской и Черниговской губерний.

Обращает на себя внимание напечатанная в 1793 г. в «Трудах» Общества статья пастора Алопеуса «Описание вод в Карелии». В статье описываются озера Карелии, и прежде всего Ладожское. Интересно, что, говоря об этом озере, автор отмечает периодичность колебания его уровня, которая составляет 14—15 лет, причем уровень изменяется в пределах трех и более аршин. Алопеус пишет: «Собственную подробную причину периодического возвышения и падения сей воды изведать я хотел, но узнать о ней не мог». Объяснение этого колебания изменением количества выпадающих осадков (дождя и снега) он отвергает и выяснение действительной причины изменения уровня озера «и как она в природе основана» предоставляет математикам и физикам.

В «Трудах Вольного экономического общества» в конце XVIII в. все чаще начинают появляться материалы, касающиеся различных вопросов водного хозяйства.

Примерно в третьей четверти XVIII в. в России вновь начинают обращать внимание на устройство искусственных водных путей, в связи с чем производятся отдельные изыскания на реках и водоразделах между ними.

Так, в 1778 и 1779 гг. Дежедерасом была составлена «Карта о земле и воде между Днепра и Двины, для указания возможности означенных двух больших рек соединить водною коммуникацією...». В представленном им проекте соединительного

³² А. И. Ходнев. История императорского Вольного экономического общества с 1765 по 1865 год. СПб., 1865.

канала предусматривалось «сделать резерв к питомству в случае засух предпоказанной коммуникации»³³.

В 1796 г. в связи с решением о соединении указанных рек путем устройства канала между реками Березиной и Уллой (будущий Березинский канал) Герман произвел «глазомерное» обследование намеченной трассы, что комиссией по сооружению этого канала было признано достаточным для составления проекта³⁴.

В 1790—1791 гг. Петр Шелихов промерил и описал Западную Двину от пункта в 25 верстах ниже Витебска до Риги (на протяжении 550 верст). Как пишет Шелихов, в составленном им на 54 больших александрийских листах атласе изображены «со всевозможною точностию все пороги, с показанием как через сии так и по всей реке самого глубоководного судового хода и с примечаниями возвышения и убыли по ней воды, скорости ея ходу, перемены форватера и проч., что все к сведению для водяной коммуникации в рассуждении производимого важного судового хода весьма необходимо»³⁵.

Атлас П. Шелихова получил высокую оценку Департамента водяных коммуникаций как снятый «с довольноною окуратностию и по правилам математики, с ясным притом отчетом естество положены и течения тоя реки».

В начале 80-х годов XVIII в. были произведены изыскания по трассе будущего Северо-Екатерининского канала (между реками Южной Кельтмой и Северной Кельтмой).

Однако заметное оживление работ по улучшению внутренних водных путей и гидрографических исследований относится лишь к самому концу XVIII и началу XIX в.

Мы не имеем возможности и не ставим своей целью освещать гидрографические исследования на суше, производившиеся в других странах. Что же касается теоретических и научно-экспериментальных работ зарубежных исследователей, то о них будет сказано при освещении истории развития определенных проблем гидрологии.

В заключение сформулируем основные выводы, вытекающие из содержания настоящей главы.

Продолжавшееся в рассматриваемый период накопление знаний по гидрографии и гидрологии рек и озер было связано с работами по улучшению существующих водных путей, с изысканиями с целью устройства новых водных соединений (оживившимися в последней четверти XVIII в.), а также — водохранилищ и водяных установок как энергетической основы раз-

³³ С. М. Житков. Исторический обзор устройства и содержания водных путей и портов в России за столетний период 1798—1898. СПб., 1900, стр. 30.

³⁴ ЦГИАЛ, ф. 156, оп. 1, д. 3.

³⁵ Там же, д. 37, лл. 4—5.

вивавшегося мануфактурного производства. Получает дальнейшее развитие начатое при Петре I изучение режима рек путем систематических наблюдений на водомерных постах за колебаниями уровней воды. Определенное значение в собирании данных о реках и озерах имело применение метода рассылки на места Академией наук (1760) и Вольным экономическим обществом (1790) анкет-запросов — метода, впервые возникшего еще при Петре I. Но особенно важную роль в накоплении гидрографических сведений и в развитии гидрологических знаний сыграли проведенные в этот период крупнейшие экспедиции, и прежде всего академические экспедиции 1768—1774 гг.

В рассмотренный период не только продолжается процесс накопления эмпирического материала, но и делаются первые попытки осмысления некоторых гидрологических явлений. В. Н. Татищев, говоря о периодических многолетних колебаниях уровня Каспийского моря, склоняется к правильному объяснению этого явления колебаниями климата. Наблюдатели за колебаниями уровня воды в Неве, считая их зависящими от перемен погоды, ставят целью выяснить закономерности этих колебаний с тем, чтобы использовать их для прогноза наводнений. Правильные суждения по ряду гидрологических вопросов высказываются М. В. Ломоносовым, кипучей и многогранной научной деятельностью которого ознаменована значительная часть рассматриваемого времени. Его высказывания касаются эрозивной деятельности вод на земной поверхности: процессов, происходящих в речных руслах, в строении которых он впервые отметил явление несимметрии поперечного профиля; общего круговорота воды в природе, в представлении которого он стоял на правильной, научной точке зрения. Выяснению круговорота воды посвящают страницы своих трудов участники академических экспедиций П. С. Паллас, И. И. Лепехин, С. Г. Гмелин. Они считают, что реки питаются осадками, выпадающими в горах, где они образуются из приносимых сюда морских паров. Таким образом, благодаря наблюдениям участников академических экспедиций в русской научной литературе утверждается представление о круговороте воды в природе, в общем соответствующее действительности.

Выдающимся вкладом в науку в этот период явились созданные членами русской Академии наук Д. Бернулли и Л. Эйлером труды по гидродинамике, заложившие теоретические основы гидравлики.

Подводя общий итог, можно сказать, что в XVIII в., наряду с накоплением большого количества фактического материала по гидрографии страны, делаются попытки научного объяснения гидрологических явлений, зарождаются элементы научной гидрологии.

Глава IV

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В XIX в. (до 1875 г.)

Создание центрального учреждения по заведованию водными путями.— Изыскания и строительство каналов.— Создание гидрографических карт.— Водомерные наблюдения.— Открытие института инженеров путей сообщения.— Начало издания «Журнала путей сообщения».— Труды по гидрографии.— Гидрографические исследования Русского географического общества.— Объяснение К. М. Бэрм асимметрии русел.— Исследования крупных озер.— Вопрос о старом русле Аму-Дарьи.— Метеорологическое изучение страны; изучение вопросов о замерзании и вскрытии рек.— Географический словарь П. М. Семенова-Тяньшанского.— Путешествие А. Ф. Миддендорфа по Восточной Сибири.

Развитие гидрологических исследований и накопление гидрологических знаний в рассматриваемый период было связано, во-первых, с работами по расширению и улучшению внутренних водных путей; во-вторых, с потребностями сельского хозяйства, именно — с необходимостью проведения мелиоративных работ с целью расширения посевных площадей и повышения урожайности; в третьих, с продолжавшимся общегеографическим изучением территории страны. Первые работы проводились главным образом, ведомством путей сообщения, вторые — ведомством сельского хозяйства и Вольным экономическим обществом, третьи — Русским географическим обществом. Отдельные гидрографические работы, и прежде всего на крупных озерах, были проведены Морским министерством.

Важной вехой в истории развития внутренних водных сообщений в России явилось создание в 1798 г. центрального государственного учреждения по заведованию водными путями — Департамента водяных коммуникаций. Следует сказать, что правительство, придавая большое государственное значение водным путям С.-Петербургской, Новгородской и Тверской губерний, еще в 1773 г. назначило наместника Новгородской, Тверской и Псковской губерний Я. Е. Северса главным директором водяных коммуникаций.

С организацией Департамента водяных коммуникаций гидрографические исследования и гидротехнические работы на реках значительно усилились. Так, И. Лосев сделал в 1799 г. съемку и нивелировку Ангары, а в 1800 г. — нивелировку Сыма в связи с проектом соединения рек Оби и Енисея путем устройства канала между реками Тымом и Сымом¹. Между прочим, предложение о соединении Тыма и Сыма возникало еще в 1716 г., когда оно было внесено в Сенат от двух петербургских торговых домов². Отметим, что Лосевым же в 1785—1786 гг. была измерена длина Лены от истока до устья, оказавшаяся равной 4233 верстам³.

В 1800 г. Сабаев произвел изыскания по рекам Валчине и Сомине, с промером их глубин и «показанием около лежащей ситуации некоторых речек и озер, в которых можно содержать запасную воду для приумножения оной в судоходной реке Сомине»⁴.

В 1798—1800 гг. А. Горский произвел нивелировку и горизонтальную съемку верховьев некоторых рек, текущих к Белому морю, с промером их глубин и взятием проб грунтов, слагающих дно⁵. Он же, с целью улучшения судоходного состояния «побочных рек Днепра» и для того, чтобы «открыть способы соединить оные внутри перекопами, каналами обходными или сооружением вододержательных строений и шлюзов», описал в 1803—1804 гг. реки Десну, Сулу, Псел, Сейм и др.⁶.

В 1801 г. смотритель работ на Днестре Матушинский представил департаменту «антрально снятой» им план Буга с описанием порогов⁷.

В связи с предложением горнопромышленника Демидова, владельца металлургических заводов в окрестностях Жиздры, о соединении Десны с Окою, в 1803 г. между этими реками, по распоряжению департамента, были произведены изыскания Б. Маклаковым⁸.

У К. Завадского⁹ указаны и другие реки и водоразделы между ними, где в это и последующее время производились небольшие топографические и гидрографические изыскания в связи с предложениями об устройстве водных сообщений между Европейской Россией и Сибирью.

¹ ЦГИАЛ, ф. 156, оп. 1, д. 2.

² Г. И. Спасский. Сведения русских о реке Амуре в XVII столетии. «Вестник Русского географического общества», 1858, ч. VII.

³ По современным данным, длина Лены равна 4270 км (4000 верст).

⁴ Там же, д. 30.

⁵ ЦГИАЛ, ф. 156, оп. 1, д. 2.

⁶ Там же, д. 65.

⁷ Там же, д. 42.

⁸ Там же, д. 79.

⁹ К. Завадский. Водяные сообщения России, ч. 1. СПб., 1884, стр. 105.

За время деятельности Департамента водяных коммуникаций (1798—1809)¹⁰ были произведены значительные работы по устройству судоходных каналов.

В 1799—1804 гг. был переустроен сооруженный еще в конце XVIII в. польским гетманом М. Огинским канал, соединивший реки Шару — приток Немана — и Яцольду — приток Припяти (Огинский канал). Большие реконструктивные работы были произведены по Днепро-Бугскому каналу, построенному Польшей в конце XVIII в. между притоком Припяти р. Пиной и притоком Западного Буга р. Муховцем.

В 1805 г. был открыт Березинский канал, соединивший системы Днепра и Западной Двины; в 1804 г. для обхода оз. Ильмень был прорыт Северсов (Новгородский) канал, соединяющий реку Мсту и Вытегру; в 1802 г. — Сяский канал между реками Волховом и Сясью для обхода Ладожского озера; в 1810 г. — Свирский канал для той же цели между реками Свирью и Сясью. В дополнение к Вышеволоцкому водному пути для соединения Волги с Балтийским морем были построены Маринская водная система (1810) с каналами между реками Ковжой (впадающей в Белое озеро) и Вытегрой (впадающей в Онежское озеро) и Тихвинская водная система (1811) с каналом между реками Тихвинкой и Валчиной. В 1803 г. были возобновлены начатые еще в 1787 г. работы по Северо-Екатерининскому каналу (закончены в 1882 г.) между реками Северной Кельтмой — притоком Вычегды и Джуричем — притоком Южной Кельтмы, впадающей в Каму, соединившему водные сообщения по рекам Беломорского, Балтийского и Каспийского бассейнов.

Для соединения столицы с архангельским портом в 1825—1828 гг. была построена Северодвинская (А. Виртембергского) водная система, начинающаяся на Шексне и идущая по ряду каналов между небольшими реками и озерами к Кубенскому озеру, из которого вытекает Сухона, приток Северной Двины.

С 1825 по 1844 г. строился Московско-Волжский водный путь с восьмиверстным каналом между верховьями рек Истры и Сестры. Хотя сооружение этого пути закончено не было, судоходство по нему все же было открыто и производилось до 1860 г.

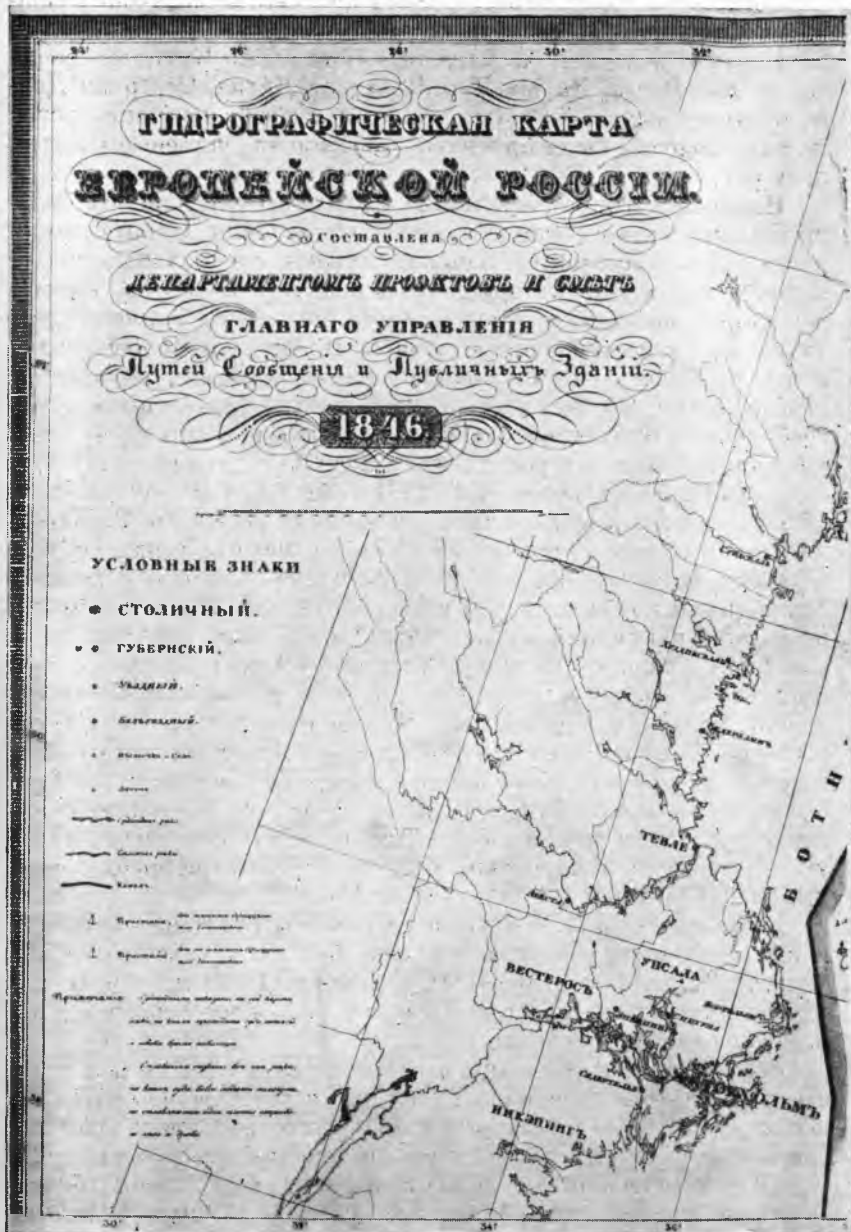
¹⁰ В управлении водными путями были проведены в 1809—1865 гг. следующие реорганизации. В июне 1809 г. Департамент был преобразован в Экспедицию водяных коммуникаций с местопребыванием в Твери. В ноябре того же года Экспедиция была реорганизована в Управление водяными и сухопутными сообщениями, при этом все водные пути были разделены на 10 округов. В 1820 г. на базе этого Управления создается Департамент путей сообщения, который с 1833 г. входит в Главное управление путей сообщения и публичных зданий. В 1865 г. создается Министерство путей сообщения, в составе которого образуется Департамент водяных сообщений.

Важным гидротехническим мероприятием «для пособия суходоходству» было сооружение в 1841—1843 гг. на Волге, в 4 км ниже оз. Волго верхневолжского водохранилища, периодическими попусками из которого во время навигации поднимались уровни в Верхней Волге.

Гидрографические исследования, кроме связанных с перечисленными и другими строительствами, проводились также в связи с многочисленными предположениями и проектами по устройству новых и улучшению существующих водных коммуникаций. В труде К. Завадского приводится около ста проектов и предложений только по сооружению новых соединительных каналов, рассматривавшихся в ведомстве путей сообщения со времени его учреждения по 1880 г. Так, по соединению Каспийского и Азовского морей было рассмотрено за это время пятнадцать различных вариантов.

В 1801 г. Департаментом водяных коммуникаций была составлена «Гидрографическая карта части Российской империи между водами Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей» в масштабе 100 верст в 1 дюйме (1 : 4 200 000). Карта была издана в 1802 г., с изображением по бокам ее планов искусственных водных соединений, существовавших в то время и вновь запроектированных. Внизу карты представлен план части Днепра с обозначением его порогов. В том же году вышло в свет составленной секретарем департамента Бахтуриным «Краткое описание внутреннего Российского империи водоходства между Балтийским, Черным, Белым и Каспийским морями, служащее изъяснением изданной при Департаменте водяных коммуникаций гидрографической карты». Водные исследования и гидротехнические работы в последующие три десятилетия позволили издать в 1832 г. замечательный «Гидрографический атлас Российской империи». В атласе, состоящем из 59 листов размером 48 × 65 см, даны карты Вышневолоцкой, Мариинской, Тихвинской водных систем, планы, продольные и поперечные профили соединительных каналов, чертежи гидротехнических сооружений на реках и каналах (плотин, шлюзов, мостов и др.). Год спустя была издана общая гидрографическая карта в масштабе около 80 верст в дюйме, на которой были показаны реки, озера, существующие и сооружаемые искусственные водные пути и пути, по которым производятся изыскания. Однако эта карта имела очень много неточностей, вплоть до того, что притоки некоторых рек были показаны впадающими не с той стороны, с какой они впадают в действительности.

В 1846 г. была издана новая гидрографическая карта Европейской России на 12 листах в масштабе 1 : 1 680 000. Карта составлялась по данным, собранным и проверенным на месте, а не просто путем переноса сведений с других карт. Каждая



Гидрографическая карта Европейской России 1846 г. Половина 1 листа

река на карте изображена со всеми притоками, включая незначительные. Линии судоходных рек обозначены синим цветом, сплавных — зеленым, а каналов — красным. Крупные реки, такие, как Волга, Днепр, Дон, Западная Двина, Северная Двина и другие, показаны двумя линиями, с обозначением островов на них. Впервые были правильно изображены устьевые участки этих рек.

Названные гидрографические карты, несмотря на их большую ценность в смысле общего представления о внутренних водах страны, не могли, однако, служить специальным инженерным целям, для которых требовались планы рек, снятые в крупных масштабах и содержащие не только плановые, но также и другие сведения о реках. Но подобного рода карт почти не было в рассматриваемое время даже по главнейшим рекам России. Из числа изданных Главным управлением путей сообщения и публичных зданий могут быть названы следующие представляющие интерес, хотя все еще малоудовлетворительные гидрографические карты¹¹. В 1861 г. был издан составленный по изысканиям Кислаковского атлас части Волги от Рыбинска до Тетюш. Атлас содержит 50 планов в масштабе одна верста в дюйме, без указания глубин, и 27 планов мелей и перекатов с глубинами по фарватеру и по косым галсам. В том же году в результате изысканий, проведенных Васильевым, издается атлас Северной Двины от Великого Устюга до Архангельска, состоящий из 46 планов в масштабе $\frac{1}{2}$ версты в дюйме и 27 планов опасных для судоходства мест. Инженерами корпуса путей сообщения был составлен и в 1863 г. издан атлас Днепра от Кременчуга до лимана из 35 планов в масштабе 1 верста в 1 дюйме, без обозначения глубин, и 16 планов порогов, перекатов и мелей с указанием глубин. Тогда же на основании изысканий, проведенных Поликарповым, был издан составленный в масштабе 200 саженей в 1 дюйме план Невы.

В разные годы XIX в. были составлены и другие карты рек и их отдельных участков, но еще более схематичные. Так, только по Волге в словаре П. П. Семенова (1863) перечисляется 11 различных карт и 1 атлас (кроме атласа, составленного по изысканиям Кислаковского).

Все перечисленные выше атласы имели тот серьезный недостаток, что, хотя на некоторых из них и указывались глубины, последние не были привязаны к точно фиксированным уровням, связанным с прочно закрепленными точками (реперами).

Гидрологический материал в атласах был крайне беден. Большим недостатком являлось отсутствие данных о речных

¹¹ П. Е. Белявский. Обзор трудов по исследованию и улучшению рек Европейской России. 1875—1890 гг.

поймах, которые съемками не охватывались. В гидрологическом отношении материалы, содержащиеся в гидрографических атласах, имели ценность почти исключительно для изучения изменений в плановых очертаниях русел.

В связи с потребностями судоходства по внутренним водным путям в начале XIX в. в ряде пунктов стали проводиться наблюдения за колебаниями уровней в реках и каналах, имевшие главной целью выяснение условий судоходства в данный момент, и прежде всего проходимости перекатов.

В 1818 г. для ежедневного определения и поддержания необходимых для судоходства горизонтов воды на всех реках и запасных водохранилищах Вышневолоцкой системы были установлены водомерные рейки¹². В монографии Н. А. Богуславского «Волга как путь сообщения» (1887) имеется указание, что в этом же году было предписано иметь водомерные рейки, или футштоки, на всех водных системах.

Наиболее ранние систематические измерения уровней, непрерывно продолжающиеся по настоящее время, были начаты у нас в 1812 г. на Немане у г. Смалининкай.

До организации планомерного изучения режима уровней (1875) водомерные наблюдения велись на немногих постах, в том числе в следующих пунктах (в скобках указаны годы начала действия постов)¹³: на Волге — у Горького (Нижнего Новгорода, 1820), Астрахани (1844), Казани (1848), Щербакова (Рыбинска, 1849), Костромы (1849), Ярославля (1848), Куйбышева (Самары, 1852), Кинешмы и Городца (1866); на Каме — у Дедюхина (1826), Чермозского завода (1854), Перми (1857); на Днепре — у Лоцманской Каменки (1818), Киева (1839), Черкасс (1847), Лоева (1857), Кременчуга (1859), Херсона (1865); на Западной Двине — у Двинска (1816).

В отдельных случаях водомерные наблюдения велись на постах, установленных частными лицами. Эпизодическое изучение колебаний уровней проводилось в связи с проектами гидротехнических работ на реках. В некоторых пунктах наблюдались лишь наивысшие уровни весенних половодий и отмечались на речных и прибрежных сооружениях.

В 1843 г. Главным управлением путей сообщения и публичных зданий был издан приказ о проведении на пристанях в течение всей навигации наблюдений за ежедневными колеба-

¹² С. М. Житков. Исторический обзор устройства и содержания водных путей и портов в России за столетний период 1798—1898. СПб., 1900.

¹³ Сведения заимствованы из монографии Б. Д. Зайкова «Высокие половодья и лаводки на реках СССР в историческое время» (Л., 1954). По поводу начала действия постов Зайков замечает, что они даются приближенно.

ниями уровней на специальных водомерах, устраиваемых в виде куста свай с прибитой к нему рейкой. Однако такие посты из-за их высокой стоимости распространения не получили. Измерение уровней, как правило, производилось по рейке, которая забивалась в берег вблизи уреза. По мере повышения или понижения уровня рейка переносилась. Показания постов, как правило, не были связаны со строго фиксированными высотными



Чугунная доска с отметкой уровня половодья 1810 г. на Верхней Каме

точками; не было связи и между наблюдениями разных лет. И хотя в 1858 г. впервые была издана «Инструкция для производства наблюдений за изменением горизонта и ложа в реках»¹⁴, существенного улучшения в водомерных наблюдениях до 1875 г. не произошло, так как отпускавшиеся на это средства продолжали оставаться весьма ограниченными. В результате низкого технического уровня производства водомерных наблюдений к настоящему времени сохранили свою ценность, как связанные с современными данными, сведения об уровнях всего на трех постах из 120, действовавших до 1875 г.: у г. Смалининкай на Немане, у с. Лоцмано-Каменки на Днепре и у Горького на Волге. Следует упомянуть о предположении инженера Киевского округа путей сообщения Завадовского об установлении на водомерных постах постоянных нулей наблюдений. Он рекомендовал принять за нулевой низкий устойчивый уровень, наблюдаемый одновременно на всех пристанях зимою¹⁵.

¹⁴ А. В. Аносов. Очерк развития водомерного дела на реках Казанского округа путей сообщения. Сборник Казанского округа путей сообщения. Казань, 1917.

¹⁵ Г. И. Сухомел и Г. И. Швец. Развитие на Украине исследований по гидрологии, гидравлике и гидротехнике. «Известия Института гидрологии и гидротехники АН УССР», т. 13 (XX), 1955.

Данные наблюдений водомерных постов не подвергались ни систематизации, ни научной обработке и не публиковались, за исключением отдельных случаев публикации в местных губернских ведомостях. Известна попытка академика П. А. Гельмерсена заняться сбором и обработкой водомерных наблюдений, о чем он говорил на заседании метеорологической комиссии Русского географического общества 10 апреля 1870 г.¹⁶ Но, по-видимому, это намерение П. А. Гельмерсен не осуществил.

Таким образом, данные о колебании уровней в реках, полученные на водомерных постах, действовавших в трех первых четвертях XIX в., оказали пользу лишь для текущих нужд судоходства. Что же касается изучения режима рек, то эти данные остались почти вовсе неиспользованными.

Известны лишь отдельные редкие случаи измерения расхода воды в целях изучения водоносности русских рек. Так, например, в 1841 г. полковник Шернваль определил расход воды в Волге в межень у Ржева, оказавшийся равным около 30 м³/сек. В 1864 г. инженер Плисов подсчитал межение расходы для различных пунктов на Волге между Калинин и Щербаковом. Но Н. А. Богуславский, автор известной монографии «Волга как путь сообщения», из которой мы взяли приведенные сведения о стоке Волги, не придавая какого-либо значения эпизодическим и крайне редким измерениям расходов воды Волги, писал, что «о количестве воды, протекавшей в прежнее время, нет совершенно никаких сведений: непосредственные наблюдения над количеством воды в Волге начаты только с 1880 года, а прежде никогда не делались»¹⁷.

При этом он отмечал, что сведений об изменении количества протекавшей в реках воды не имелось в то время не только ни для одной из наших рек, но и для рек других стран.

Важным событием в научной, да и вообще в культурной жизни России явилось открытие в 1809 г. в Петербурге института созданного тогда же Корпуса инженеров путей сообщения «для приуготовления юношества и образования инженеров». Институт был рассчитан на 80 человек, срок обучения — 4 года. В последующем питомцы этого института сыграли исключительно большую роль в развитии инженерной гидрологии.

С начала XIX в. усиление внимания к водным путям вызвало оживление научно-технической мысли в области гидравлики, гидрологии, гидротехники. Трибуной и распространителем знаний по этим отраслям науки и техники явился созданный в 1826 г. «Журнал путей сообщения» (с 1845 г. — «Журнал Глав-

¹⁶ «Известия Русского географического общества», 1870, т. VI, отдел 1.

¹⁷ Н. А. Богуславский. Волга как путь сообщения. СПб., 1887, стр. 162.

ного управления путей сообщения и публичных зданий», с 1865 г.— «Журнал Министерства путей сообщения»). Журнал, как указывалось в его программе, должен был «заключать в себе замечательнейшие приложения математических и физических наук к инженерному искусству, почерпнутые из отечественных и иноземных изысканий и опытов; иметь преимущественно в виду пополнение великого промежутка (недостатка.— *И. Ф.*) в статистических сведениях Европы и доставить ей новые способы ознакомления с обширной и могущественною Россией».

В журнале систематически печатались статьи и заметки, посвященные отдельным рекам и каналам, а также общим вопросам речной гидрологии, принадлежащие как русским, так и иностранным авторам. Ко времени создания журнала Институт путей сообщения за 17-летний период своей деятельности подготовил уже не одну сотню инженеров. Они-то и составили авторский коллектив вновь созданного журнала. Уже за первые десять лет существования журнала воспитанники института, наряду с ценными переводными статьями, опубликовали в нем более 50 оригинальных статей, в том числе и по гидрографии и гидрологии. Укажем лишь на некоторые статьи гидрологического характера, помещенные в журнале в рассматриваемый период. В 11-й книге журнала за 1827 г. напечатано краткое обозрение гидрографии Российского государства. В 3-й книге за 1838 г. публикуется перевод сочинения французского географа Бусенго «О влиянии разработки земель и вырубки лесов на уменьшение текущей воды», в котором он приходит к выводу, что пространные лесные расчистки ведут к уменьшению проточных вод, к усилению неравномерности распределения их в течение года, а, возможно, также и к уменьшению количества осадков. Откликом на сочинение Бусенго явилась написанная в 1843 г., но опубликованная лишь в 1862 г. (в 1-й книжке) статья инженера Термина «Рассуждение о вопросе, изменилось ли количество воды, протекающей ежегодно через Волгу, от вырубки лесов, растущих по берегам этой реки и ее притокам». Не имея прямых данных хотя бы об изменениях уровня Волги в определенных пунктах, автор, путем расчетов количества вносимых в Каспийское море наносов, приходит к положительному ответу на поставленный в заглавии статьи вопрос.

Вопросу о причинах обмеления Волги, которое принималось как доказанное, была посвящена помещенная в 3-й книжке журнала за 1861 г. статья В. Квалена, в которой он привлекает внимание к вопросу о необходимости серьезной борьбы с распространением оврагов как главной причиной обмеления Волги.

Назовем крупные обобщающие сочинения по гидрографии, появившиеся в результате деятельности ведомства путей сообщений в рассматриваемый период.

Ценными трудами по водам России явились шеститомная «Гидрография Российской империи» И. Х. Штукенберга и «Судоходный дорожник Европейской России, издаваемый Главным управлением путей сообщения и публичных зданий».

Первый том «Гидрографии Российской империи» посвящен бассейну Балтийского моря, второй — Северного Ледовитого и Тихого океанов, третий — Черного моря, четвертый и пятый — Каспийского моря, шестой том содержит дополнения и подробный указатель.

«Гидрография» Штукенберга, вышедшая в 1844—1849 гг. и являвшаяся плодом двадцатилетнего труда автора, подытожила сведения о реках и озерах России, собранные за 150-летний период исследований¹⁸.

«Дорожник» предполагалось выпустить в восьми частях и подробно осветить вопросы гидрографии всей Европейской России, однако эти намерения осуществить не удалось: вышли только первая часть (1854), посвященная Волге, и первый отдел второй части (1885), заключающий продолжение поверхностного описания Волги и описание Вышневолоцкой, Тихвинской и Мариинской водных систем. Эти описания содержат интересные и ценные сведения гидрографического и гидрологического характера. Так, в описании Волги, которое ведется от истока к устью, даются сведения о направлении ее течения, о притоках, ширине русла и поймы, строении берегов и дна, глубинах, колебаниях уровня, сроках замерзания и продолжительности ледостава; гидрологические сведения относятся главным образом к происходящим в русле деформациям, к образованию перекатов, осередков, островов, песчаных кос (в нижней части реки), движению наносов. При этом правильно указывается, что «главные изменения в русле происходят во время весеннего половодья» и что «в меженное время река медленно и слабо, но постоянно содействует течением своим уничтожению тех весенних изменений в русле, которые не удовлетворяют условиям меженного ее состояния»¹⁹.

¹⁸ Ценность «Гидрографии» И. Х. Штукенберга значительно снижалась тем, что она, будучи изданной на немецком языке и переведенной на ряд других европейских языков, на русский не переводилась. Доступность ее для широкого круга читателей ограничивалась также очень трудным изложением. Переводчик статьи из «Гидрографии» о Доне и его притоках писал: «Слог Штукенберга цветистый, часто неудобопонятный, туманный и братья за перевод его следует не иначе, как прежде ознакомившись с топографиею и историею описываемой им местности; но затем полнота сообщаемых им сведений и живость, а местами картинность изложения с лихвой вознаграждают затраченный труд» (И. Х. Штукенберг. Дон и его притоки. Воронеж, 1891).

¹⁹ Судоходный дорожник европейской России, ч. 1. СПб., 1854, стр. XLIX.

И. П. Глушинский, руководивший с середины 50-х годов до 1889 г. кафедрой водяных сообщений в Институте путей сообщения, составил прекрасный для своего времени курс внутренних водных сообщений²⁰. В этом курсе, впервые литографированно изданном в 1862 г., обширная гидрологическая часть вполне отвечала последним достижениям научной мысли в области гидрологии у нас и за границей.

Вопросы гидрографии находили отражение также в университетских курсах физической географии. Так, в программе по физической географии, составленной в 1849 г. М. Ф. Спасским для физико-математического отделения Московского университета, имелся самостоятельный раздел «Гидрография», который включал следующие вопросы по гидрографии и гидрологии рек и озер:

«в. Реки, — скорость течения воды в реках, образование речного ложа, направление рек, поверхность воды в реках, характер рек в верхнем, среднем и нижнем течении; механические примеси в воде речной; образование дельт и гафов; понятие о бассейнах рек или область реки, величина важнейших рек.

с. Озера — разделение озер на проточные и непроточные; различные свойства озерной воды; изменение горизонта воды в озерах проточных и непроточных; глубина озер, температура воды на различных глубинах озер, особенности некоторых озер»²¹.

Как уже отмечалось, накопление гидрологических знаний в рассматриваемый период происходило также в связи с проведением некоторых работ по мелиорации земель. Правда, масштаб этих работ был весьма небольшим. Так, например, с 1818 г. — начала осушительных работ в России — до 1845 г. было осушено всего 1440 десятин. Организованному в 1837 г. Министерству государственных имуществ в 1845 г. были переданы и работы по мелиорации земельных угодий; осушение заболоченных земель несколько усилилось, но крайне незначительно. Больших работ по искусственному орошению земель почти вовсе не проводилось. Тем не менее в периодической литературе того времени можно найти немало статей и заметок, посвященных вопросам улучшения водного режима земельных угодий, причем в первой половине XIX в. — главным образом вопросам осушения, а начиная со второй половины века — преимущественно вопросам орошения. Вопросы гидрологии болот нашли, например, отражение на страницах «Трудов Вольного экономического общества». В «Трудах» этого общества обсуждались и другие гидрологические вопросы, в частности вопрос о гидрологической и климатической роли леса. Последнему вопросу в 30-х годах,

²⁰ И. П. Глушинский. Водяные сообщения. 1862.

²¹ А. Ф. Кононов. История физики в Московском университете. 1755—1859. М., 1955.

было уделено внимание и на страницах «Журнала Министерства государственных имуществ», о чем подробнее будет сказано позже, при изложении истории учения о стоке.

Из отдельных изданий по мелиорации, включающих элементы гидрологии, назовем составленное Г. Энгельманом и вышедшее в 1810 г. руководство по осушению земель под заглавием: «Теоретическое и практическое руководство к осушению угодьев, или показание причин, рождающих в почве чрезмерную мокроту и производящих зыби, болота и топи; равно средство, чрез которые умножение оной можно пресекать и усилившуюся уже там воду отводить и делать такие угодья удобными к обработыванию», а также изданную Вольным экономическим обществом в 1827 г. книгу А. Стойковича «Систематическое изложение способов обезводнения мокрой, болотистой почвы и осушения топей».

Более самостоятельным и ценным в научном отношении является первое сочинение.

Г. Энгельман, рассматривая причины, «рождающие в почве чрезмерную мокроту», указывает, что первой причиной является «собрание дождевой и снежной воды на поверхности земли», второй — «источники, из земных недр происходящие», третьей — «наводнение и подпор морей больших и малых рек или просачивание вод сквозь рыхлую землю при равновозвышающейся с сею их поверхности». Касаясь «запуганной», как он говорит, науки об источниках и не пытаясь дать ответ на вопрос, «подлинно ли все, также в виде широких рек стремящиеся по земной поверхности, источники приемлют начало от атмосферической воды и ею поддерживаются», Энгельман считает не подлежащим никакому сомнению тот факт, что все мелкие ручьи, с которыми имеет дело земледелец, происходят от дождевой и снеговой воды, которая проникает сквозь рыхлую землю, по водонепроницаемым слоям выходит на поверхность и «здесь уже либо в виде чистого ключа, либо в виде многочисленных жил изливаясь течет по приготовленной ею самой дорожке, или, мешаясь с рыхлою насыпною землею, образует кушно с нею зыби, болоты или топные места»²². Правильное представление о круговороте воды в природе мы находим в труде Э. И. Эйхвальда «Геогнозия преимущественно в отношении к России». В главе «Гидрология» известный русский ученый определяет гидрологию как науку, «рассматривающую явления на поверхности земли, происходящие от воды». Описав кругообращение воды, «весьма важное в экономии природы», Эйхвальд заключает, что «количество атмосферной воды, орошающей страну, находится

²² Г. Энгельман. Теоретическое и практическое руководство по осушению угодьев. СПб., 1810, стр. 21.

в прямом отношении с числом и богатством родников почвы ее...»²³.

Расширение сведений по гидрографии рек и озер России в процессе ее общегеографического исследования, а также изучение климата страны, начиная с конца первой половины XIX в., в большой степени было связано с деятельностью организованного в 1845 г. Русского географического общества.

С первых же лет существования общества под его руководством был проведен целый ряд экспедиций в различные области страны. Мы отметим лишь те экспедиции, которые имели плодотворные результаты в гидрологическом отношении²⁴.

В 1847—1848 гг., а затем в 1850 г. проводились экспедиционные исследования на Северном Урале. При этом была снята часть долины Печоры.

В Восточной Сибири экспедицией общества в 1855—1858 гг. был обследован ряд рек, причем впервые весьма обстоятельно был описан Амур (Р. К. Мааком). Следует указать, что Амурской экспедицией 1848—1855 гг. под руководством Г. И. Невельского были установлены островной характер Сахалина и проходимость устья Амура для больших судов. В 1858 г. известный географ М. И. Венюков произвел съемку и дал подробное обозрение р. Уссури.

В 1865 г. Витимской экспедицией Сибирского отдела общества производилось под руководством И. А. Лопатина исследование Витима и других рек Восточной Сибири. В следующем году Лопатин возглавил Туруханскую экспедицию. При исследованиях на Енисее было обращено внимание на русловые явления, связанные с движением воды и льда. Лопатин отметил, что в одном из ущелий вследствие большой скорости течения подкаменная Тунгуска не замерзает.

Географическое общество внесло свой вклад в исследование проблемы Обь-Енисейского водного пути. Так, по просьбе министра путей сообщения К. Н. Посьета, обществом была составлена инструкция для экспедиции по проведению в 1876 г. гидрографической рекогносцировки в районе будущего пути. Одной из важных задач экспедиции являлось изучение ледового режима рек, в частности вопроса о том, как образуется лед: на поверхности или на дне рек. В 1878 г. общество приняло непосредственное участие в экспедиции Министерства путей сообщения по исследованию северного варианта (Язевая — Малый Кас) соединения двух крупнейших сибирских рек.

²³ Э. И. Эйхвальд. Геогнозия преимущественно в отношении к России. СПб., 1846, стр. 152.

²⁴ П. П. Семенов. История полувековой деятельности императорского Русского географического общества. СПб., 1896.

Наконец, относительно рек Сибири следует отметить ценные наблюдения (хотя они и выходят за хронологические рамки рассматриваемого периода) за расходами и колебаниями уровня Ангары, проведенные в 1886—1887 гг. членом Сибирского отдела общества Э. Б. Штеллингем.

Большое внимание уделило Географическое общество, так же как и Морское министерство, исследованию озер, особенно Аральского и Каспийского морей. В декабре 1852 г. А. И. Бутаков зачитал в обществе записку «Сведения об экспедиции, снаряженной для описи Аральского моря, в 1848 году». В 1848—1849 гг. А. И. Бутаковым и К. Е. Поспеловым была произведена съемка берегов и промерены глубины Аральского моря, а в 1850 г. Гидрографическим департаментом Морского министерства по их данным была издана карта этого моря. Находившийся в экспедиции Бутакова в качестве рядового бывший в ссылке великий украинский поэт Т. Г. Шевченко составил альбом береговых видов Аральского моря.

Значительным фактом в истории изучения Аральского моря явилось издание Географическим обществом в 1851 г. составленной Я. В. Ханыковым карты Аральского моря и Хивинского ханства.

В 1856—1858 гг. Географическое общество провело совместно с Министерством государственных имуществ экспедицию по исследованию каспийского рыболовства, возглавлявшуюся К. М. Бэр и давшую весьма ценные сведения по физической географии моря и его бассейна. Так, был изучен вопрос о том, каким образом произошло понижение древнего Каспия. Затем, именно в итоге этой экспедиции, Бэр, рассматривая влияние суточного вращения Земли на массу текущей воды, установил правило («закон Бэра»), согласно которому «в нашем северном полушарии... вода во всех реках, не направляющихся по параллелям, должна стремиться к правому берегу» и размывать его²⁵. В статье, из которой взята эта выписка²⁶, К. М. Бэр делает попытку приложить открытое им правило к выяснению вопроса, почему Аму-Дарья, впадавшая когда-то в Каспийское море, теперь впадает в Аральское море. Он пишет: «...кажется можно довольно верно определить, что течение реки Аму-Дарья, или Оксуса, стремилось более и более направо, так, что вся река перелилась из одного моря в другое»²⁷.

Подробное гидрографическое исследование Каспийского моря было проведено в 1856—1867 гг. экспедицией Морского

²⁵ Подробнее о законе Бэра см. на стр. 177.

²⁶ К. М. Бэр. Почему у наших рек, текущих на север или на юг, правый берег высок, а левый низмен. «Морской сборник», 1857, т. XXVII, № 4, стр. 117.

²⁷ Там же, стр. 122.

министра, возглавлявшейся активным членом Географического общества Н. А. Ивашиным. В итоге этого исследования был составлен и издан в 1870 г. полный атлас Каспийского моря. Приток речных вод в Каспий Н. А. Ивашин определил в 21 дюйм (около 530 мм) в год²⁸ (что значительно меньше действительного среднего притока, определенного позже).

В 1856—1857 гг. П. П. Семенов-Тяньшанский изучал одно из самых больших горных озер мира (длина 182 км, наибольшая ширина 58 км) — Иссык-Куль. В 1858 г. была издана первая карта озера, основанная на топографических съемках.

В 1858—1859 и в 1875 гг. Морское министерство провело обширные исследования Ладожского озера. Возглавлявший эти исследования известный гидрограф А. П. Андреев отмечает²⁹, что до XVII столетия не имелось никаких сведений по гидрографии Ладоги — этого самого обширного озера Европы (его длина более 200 км, наибольшая ширина 124 км, площадь — 18 400 км²), причем находящегося вблизи Петербурга. Первые промеры глубин озера были сделаны в 1763—1765 гг. Селяниновым. В 1812 г. были изданы карты озера, переиздававшиеся впоследствии дважды — в 1845 и в 1854 гг., но они оказались совершенно непригодными для судоходства. В результате гидрографических работ экспедиции А. П. Андреева в 1867 г. Гидрографическим департаментом Морского министерства была издана состоящая из двух больших листов в масштабе 1 : 200 000 карта Ладожского озера с 11-ю планами на полях, относящимися к различным прибрежным местностям. А через несколько лет А. П. Андреев опубликовал замечательную монографию «Ладожское озеро», не утерявшую своего значения до настоящего времени.

Наблюдения за колебаниями уровня воды в озере были начаты в 1859 г. монахами монастыря на о. Валааме. А. П. Андреев отмечает, что 14-летние наблюдения за уровнем озера на Валааме «вполне уничтожают ни на чем не основанное поверье, насчет постоянного семилетнего возвышения и такого же периода постепенного понижения озера»³⁰, поверье, которого неизвестно почему придерживались все прибрежные жители.

А. П. Андреев пишет, что уровень озера прямо зависит от атмосферных явлений: обилия снега и дождя, температуры лета, продолжительности зимы. Вместе с тем он отмечает то на первый взгляд «странное» явление, что хотя август в окрестностях Ладоги весьма обилеен дождями, в начале сентября уровень в озере, несмотря на холодную погоду, сильно падает. Но он тут

²⁸ Н. М. Филиппов. Об изменении уровня Каспийского моря. СПб., 1890.

²⁹ А. П. Андреев. Ладожское озеро. СПб., 1875.

³⁰ Там же, стр. 100.

же объясняет это обстоятельство тем, что, по-видимому, несколько очень жарких дней в конце июля так иссушают землю, что дождевой воды, вследствие больших потерь на просачивание в грунт, все же оказывается недостаточно, чтобы покрыть отток из озера через Неву в море.

Большие работы в 1873—1893 гг. были проведены морским ведомством на Онежском озере — вторым по величине озеро Европы, соединяющемся с Ладожским озером р. Свирью. Сначала экспедицией руководил А. П. Андреев, затем Ф. К. Дриженко. В результате этой экспедиции были составлены «Временные карты Онежского озера»: генеральная карта глубин и три карты отдельных частей озера, которые, уточняясь дополнительными промерами, остаются основными по настоящее время³¹.

Постоянные водомерные наблюдения на озере были начаты лишь с 1876 г. Но еще в 1854 г. инженер Стабровский в статье «Описание вновь сооруженного Онежского обводного канала» сделал попытку охарактеризовать колебания уровня озера, разделив их на сезонные и периодические. При этом он, некритически принимая существовавшее у жителей Прионежья ошибочное представление, утверждал, что продолжительность периодических колебаний Онежского озера равна семи годам³². Он описал также колебания горизонта озера в течение суток из-за неодинаковости атмосферного давления в различных частях озера и горизонтального передвижения в связи с этим воздушных масс, т. е. описал сейши.

Остановимся еще кратко на истории изучения в рассматриваемый период Байкала — самого глубокого озера в мире (наибольшая глубина — 1741 м), уступающего по объему воды только одному озеру — Каспийскому морю и представляющего собой наиболее крупное на земном шаре скопление пресной воды (23 000 км³). Еще одна важная особенность Байкала — его древность. Обычно озера самое большее через 10—15 тысяч лет заполняются постепенно наносами и осадками; байкальский же водоем существует, как полагают, миллионы лет. Знакомство русских с Байкалом и его изучение началось еще в середине XVII в. Мы уже говорили об описании Байкала Н. П. Спафарием, Д. Г. Мессершмидтом, участником Второй камчатской экспедиции Гмелиным, о съемке Байкала, по поручению П. С. Палласа, А. Пушкаревым.

В 1864 г. была издана карта Байкала, основанная на проведенной в 1849—1850 гг. подробной съемке его берегов.

³¹ И. В. Молчанов. Онежское озеро. Л., 1946.

³² Стабровский И. Описание вновь сооруженного Онежского обводного канала. «Журнал Главного управления путей сообщения и публичных зданий», кн. 5, 1854.

Интенсивные исследования Байкала были произведены в 1866—1890 гг. группой участников польского восстания 1863 г., отбывавших ссылку на берегах озера. Известный байкаловед Г. Ю. Верецагин указывает, что работы поляков, особенно Б. И. Дыбовского и И. Д. Черского, составили эпоху в изучении Байкала³³. Б. И. Дыбовский произвел промеры глубин южной части Байкала по точно нанесенным на карту профилям.

Остановимся теперь на одной из интереснейших проблем гидрографии Средней Азии.

В географическом обществе неоднократно обсуждался вопрос о древнем течении Аму-Дарьи, о сухом русле Узбоя, о повороте течения Аму-Дарьи в Каспийском море, возможность чего, как мы знаем, пытался выяснить еще Петр I.

Впервые этот вопрос был возбужден в обществе в 1864 г. запиской В. В. Григорьева, Н. А. Ивапинцова и других, в которой они, основываясь на исторических свидетельствах, высказали убеждение, что Аму-Дарья впадала раньше в Каспийское море и что поворот ее в старое русло возможен.

Согласно указаниям некоторых восточных авторов, еще в XIV—XVI вв. Аму-Дарья по крайней мере часть своих вод отдавала Каспийскому морю. 5 февраля 1870 г. Р. Э. Ленц выступил на заседании отделения физической географии Русского географического общества с докладом «Наши познания о древнем течении Аму-Дарьи и впадении ее в Каспийское море». Ленц утверждал, что с X в. Аму-Дарья постоянно впадает в Аральское море. Впадение ее когда-либо в Каспийское море он считал сомнительным. Но если Аму-Дарья действительно когда-то изменила свой путь, то для объяснения этого обстоятельства, говорит Ленц, следует принять в расчет сильный подъем правого берега Аму-Дарьи, о котором свидетельствовали уже древние восточные писатели. Возможно, заключает Ленц, изменение течения Аму-Дарьи вполне объясняется законом Бэра³⁴.

³³ Г. Ю. Верецагин. Байкал. М., 1949.

³⁴ «Известия Русского географического общества», 1870, т. VI, отдел 1, стр. 118.— Позже, в 1902 г., В. В. Бартольд, анализируя в своей работе «Сведения об Аральском море и низовьях Аму-Дарьи с древнейших времен до XVIII в.» (Ташкент, 1902) различные источники, признал достоверность свидетельств о том, что в 1221—1573 гг. наблюдалась бифуркация (раздвоение) Аму-Дарьи и небольшая часть ее вод направлялась в Сарыкамышскую впадину, а из нее по древнему руслу, Узбою, в Каспийское море. Согласно новейшим данным, сток из Сарыкамышья в Каспий по Узбою в средние века существовал, но происходил периодически. Относительно происхождения Узбоя имеется несколько гипотез. Так, Л. С. Берг считал, что «Узбой — это соединявший некогда Каспий и Арал пролив, служивший затем руслом для стока вод Арала в Каспий, а впоследствии временно занятый рекой, подобно тому, как, например, Волга в среднем течении занимает долину, существовавшую еще в меотическую эпоху, когда высоты правого берега Волги служили берегом меотического моря» (Л. С. Берг. Аральское море. СПб., 1908, стр. 525). В 1953 г.

Интерес к исследованию Арало-Каспийского бассейна особенно усилился с начала 70-х годов, после присоединения к России среднеазиатских республик. Значительные гидрографические исследования Аму-Дарьи были произведены в 1874 г. экспедицией Географического общества, возглавлявшейся Н. Г. Столетовым и А. А. Тилло. Участник экспедиции Н. Н. Зубов измерил расход воды Аму-Дарьи в ее нижнем течении, оказавшийся равным 1119 м^3 в высокую воду и 864 м^3 в низкую воду. В 1875 г. среднегодовой расход воды Аму-Дарьи у Нукуса был определен Ф. Б. Дорандтом в 1474 м^3 в секунду. Нивелировками этой экспедиции было установлено, что горизонт Аральского моря стоит выше горизонта Каспийского моря примерно на 75 м. В 1876 г. экспедиция Петрусовича обнаружила существование громадной Сарыкамышской котловины, дно которой лежало ниже уровня Аральского моря более чем на 85 м. Когда-то эта котловина была озером, пересошим вследствие прекращения течения воды по старым руслам Аму-Дарьи.

В 1879—1883 гг. весьма важная экспедиция с некоторым участием Географического общества была проведена Министерством путей сообщения в связи с прорывом Аму-Дарьи в половодье 1878 г. в Сарыкамышскую котловину. Перед экспедицией, возглавлявшейся А. И. Глуховским, была поставлена задача — изыскать пути восстановления прежнего течения Аму-Дарьи в Каспийское море. Проведенные работы показали, что имеется полная возможность выделить из Аму-Дарьи и направить к Каспийскому морю по старым руслам Куля-Дарье, Дудану и Узбою в среднем около 225 м^3 воды в секунду³⁵.

Касаясь вклада Русского географического общества в изучение климата страны, мы прежде всего отметим ценную инициативу общества по исследованию вопроса о вскрытии и замерзании

А. А. Ямнов и В. Н. Кунин по поводу происхождения Узбоя высказали следующую точку зрения (А. А. Ямнов и В. Н. Кунин. Некоторые теоретические итоги новейших исследований в районе Узбоя в области палеогеографии и геоморфологии. «Известия АН СССР», серия географ., 1953, № 3).

Пра-Аму-Дарья, впадавшая в доисторическое время в Каспийское море, в период континентальных оледенений, вследствие общего похолодания и увлажнения климата, вместе с увеличением водоносности значительно увеличила и свой твердый сток. Разгружаясь в дельте, она постепенно преградила себе наносами путь в Каспий и, все более уклоняясь вправо, с течением времени прорвалась на север и вызвала соединение Арала и Сарыкамыша. Переполнившийся Сарыкамыш избыток своих вод излил на юг и дал начало Узбою, который по системе озер соединил, наконец, Арал и Каспий. Сток по Узбою прекратился во II—I тысячелетиях до н. э. Периодически он вновь возникал в XV—XVII вв.

³⁵ А. И. Глуховской. Пропуск вод р. Аму-Дарьи по старому ее руслу в Каспийское море и образование непрерывного водного Аму-Дарьинско-Каспийского пути. СПб., 1893, стр. 145.

рек. Для сбора фактических материалов по этому вопросу общество прибегает к анкетному методу и в 1848—1849 гг. получает ответы от 400 лиц. В 1858 г. выходит в свет монография одного из первых ревностных исследователей метеорологических явлений К. С. Веселовского «О климате России»³⁶.

Вопросу о вскрытии и замерзании рек в этом труде уделяется большое внимание. Веселовский нашел, что, кроме температуры, на число дней ледостава значительное влияние оказывает скорость течения, а именно: чем больше скорость, тем при более низкой температуре воздуха происходит покрытие реки льдом. Он также отметил существование то теплых, то холодных периодов продолжительностью в 10—12 лет. С 1870 г., когда была создана в Географическом обществе метеорологическая комиссия, обработке наблюдений за вскрытием и замерзанием рек посвятил много времени и труда М. А. Рыкачев. В июне 1870 г. он опубликовал статью «О значении наблюдений над вскрытием и замерзанием рек». Его многолетние исследования этого вопроса увенчались в 1886 г. выходом в свет обширного труда «Вскрытия и замерзания вод в Российской империи», получившего тогда же высокую оценку А. И. Воейкова³⁷. В труде М. А. Рыкачева собраны и обработаны данные наблюдений в 921 пункте, причем приведено 11 894 наблюдения над вскрытием и 10 437 наблюдений над замерзанием рек, т. е. в 4½ раза более, чем у К. С. Веселовского. А. И. Воейков называет труд Рыкачева монументальным и прекрасным и особенно отмечает ценность составленных автором таблиц средних сроков вскрытия и замерзания и их колебаний.

Важнейшим делом, выполненным Географическим обществом, было издание в 1863—1886 гг. пятитомного «Географическо-статистического словаря Российской империи», составленного П. П. Семеновым (Тянь-шанским). По гидрографии суши статьи словаря, как говорится в предисловии к нему, охватывают «все судоходные и сплавные реки, а также все реки, превышающие 50-верстное протяжение в Европейской и 100-верстное в Азиатской России, а также и меньшие горные реки, замечательные своими долинами или золотыми россыпями; замечательные пороги, скалы, острова и мысы, встречающиеся вдоль течения судоходных рек; пристани на этих реках; озера, превосходящие 10 верст в одном из диаметров; болота того же размера; все сколько-нибудь значительные соленые озера, обширные солончаки, минеральные источники, все искусственные коммуникационные каналы и системы их». Словарь П. П. Семенова

³⁶ К. С. Веселовский. О климате России. СПб., 1857.

³⁷ А. И. Воейков. Рецензия на книгу М. А. Рыкачева «Вскрытия и замерзания вод в Российской империи». «Известия Русского географического общества», 1887, т. XXIII.

подытожил все известные к тому времени сведения о географии России, в том числе богатейшие сведения, добытые знаменитыми общегеографическими экспедициями, проведенными по поручению общества самим составителем словаря П. П. Семеновым (1856—1857), а затем Н. М. Пржевальским и другими смелыми русскими путешественниками в малодоступные области Азии. В «Географическо-статистическом словаре» получили обобщение накопленные к тому времени сведения по гидрографии нашей родины.

Заканчивая обзор того, что делалось в России в первых трех четвертях XIX в. в отношении гидрографического и отчасти гидрометеорологического изучения страны, необходимо упомянуть еще экспедиции, связанные с деятельностью Академии наук, доставившие ценные сведения по гидрографии. Весьма плодотворным было путешествие по Восточной Сибири, совершенное в 1843—1844 гг. академиком А. Ф. Миддендорфом. Это трудное путешествие имело два направления: 1) от Красноярска к низовьям Енисея, затем на Пясино, Хатангу и Таймыр; 2) от Красноярска на Якутск, к Охотскому морю, в бассейн Амура. В первой части изданного Академией наук в 1860—1877 гг. обширного сочинения А. Ф. Миддендорфа «Путешествие на север и восток Сибири» (в двух частях, в трех книгах) имеется раздел «География и гидрография», в котором описаны реки обследованного края. Много ценных сведений сообщает Миддендорф и о климате Сибири.

Одним из важнейших событий рассматриваемого периода было учреждение в 1849 г. на базе физической обсерватории Горного института Главной физической обсерватории (переданной в 1866 г. в ведение Академии наук), сыгравшей исключительно большую роль в гидрометеорологическом изучении страны.

Из гидрологических работ на реках, проводившихся в этот период за границей, нельзя не сказать об исследовании Миссисипи и ее притоков и об организации службы прогнозов уровней Сены, поскольку эти работы послужили примером и для других стран.

Работы на Миссисипи были предприняты в 50-х годах по решению Конгресса США и продолжались около 10 лет. За это время комиссией, возглавлявшейся А. А. Гемфрейсом и Х. Л. Абботом, были измерены длины, продольные уклоны, поперечные профили, скорости течения и расходы воды, площади бассейнов и количества выпадающих на них осадков. Особенно подробные изыскания были произведены от места впадения Миссури до устья. В этой части реки, кроме определения необходимых топографических данных, были измерены уклоны водной поверхности при различных горизонтах; на

множестве установленных комиссией водомерных постов произведены наблюдения за колебаниями уровня воды; точно измерены профили русла при различных горизонтах; измерены расходы твердого стока Миссисипи и ее притоков; исследованы размеры и свойства половодий и паводков; сделаны наблюдения над осадками и температурами атмосферы и воды. В результате обработки собранных данных были получены выводы о средних значениях наблюдавшихся величин³⁸.

Исследования Гемфрейса и Аббота имели широкий отклик в мировой научной литературе. И это объяснялось не только обширностью предпринятых изысканий, но и тем, что Гемфрейс и Аббот попытались на основании полученных данных сделать некоторые заключения и выводы, касающиеся свойств свободных водных потоков. Однако в русской литературе отмечалось, что результаты исследований Гемфрейса и Аббота в теоретическом отношении «были переоценены». «Многие думали,— писал профессор М. П. Рудский в 1893 г.,— что найдена новая, настоящая теория рек. Между тем были найдены эмпирические, впрочем, несколько натянутые формулы, вкратце резюмирующие наблюдения Гемфрейса и Аббота». Вместе с тем профессор М. П. Рудский подчеркивал, что, благодаря исследованиям Гемфрейса и Аббота, «наше фактическое знание (свойств речного потока.— *И. Ф.*) значительно увеличилось»³⁹.

Во Франции в 1854 г. инженером Бельгроном были начаты обширные наблюдения за различными метеорологическими и гидрологическими элементами и изучение проницаемости почв в бассейне Сены с целью предсказания высоты уровней реки в Париже. Точность налаженных к 70-м годам прогнозов достигала 10—12 см. О некоторых других исследованиях за рубежом, представляющих значительный теоретический интерес, будет сказано в соответствующих местах ниже.

Итак, гидрографические исследования в России в первых трех четвертях XIX в. получают дальнейшее развитие.

Накопление гидрографических сведений и элементов гидрологических знаний в этот период, во-первых, по-прежнему происходило в связи с изысканиями на реках и водораздельных пространствах с целью улучшения существующих и устройства новых водных путей. С начала XIX в. работы на водных путях вновь, после длительного застоя, приобретают заметное оживление и, благодаря созданию департамента водяных коммуника-

³⁸ Ф. Э. Гершельман. Исторический очерк внутренних водных сообщений. СПб., 1892.

³⁹ М. П. Рудский. Опыт исследования главнейших явлений, наблюдаемых в реке. 1893. В Сб.: «Вопросы речного быта». СПб., 1907, стр. 319.

ций, известную централизацию. Особенно значительные водные исследования и гидротехнические работы по устройству судоходных каналов были произведены в первой четверти XIX в. В качестве основного метода исследований, как и прежде, применялся экспедиционный метод. Вместе с тем было обращено внимание и на организацию стационарных наблюдений за колебаниями уровня воды в реках и каналах, но необходимой сети водомерных постов в этот период создано не было. Важным делом, начатым департаментом водяных коммуникаций, явилось создание гидрографических атласов и карт, из которых карта 1846 г. представляла весьма ценное издание, отразившее результаты больших работ по изучению гидрографической сети Европейской России. Итоги длительных гидрографических исследований нашли обобщение также в крупных литературных трудах, таких как «Гидрография Российской империи» И. Х. Штукенберга, «Судоходный дорожник Европейской России», «Географическо-статистический словарь Российской империи» П. П. Сенова.

Во-вторых, накопление гидрографических материалов и гидрологических знаний происходило благодаря продолжавшемуся общегеографическому изучению страны, в котором наиболее активное участие принимало организованное в 1845 г. Русское географическое общество. Экспедициями этого общества, обратившего основное внимание на реки Азиатской части России, а также на изучение крупных озер, особенно Аральского и Каспийского морей, были добыты обширные и ценные гидрографические и гидрологические данные. Большие исследования крупных озер, начатые преимущественно с конца второй половины XIX в., были проведены также гидрографическим департаментом Морского министерства.

В результате исследований были составлены и изданы подробный атлас Каспийского моря и гидрографические карты Аральского моря, Ладожского и Онежского озер. Большое внимание уделило географическое общество проблеме древнего течения Аму-Дарьи и Узоя. К числу серьезных заслуг Русского географического общества относится его инициатива в изучении сроков вскрытия и замерзания рек России.

Кроме интересов судоходства и потребностей общегеографического изучения страны, на развитие гидрологических знаний в рассматриваемый период стали оказывать влияние также запросы сельского хозяйства, особенно в связи с необходимостью проведения мелиорации земель.

В начале XIX в. становится вполне ощутимой потребность в подготовке инженерных кадров для путей сообщения, в том числе и для водных путей. Созданный в 1809 г. в Петербурге Институт инженеров путей сообщения явился хорошей школой,

готовившей высокообразованных специалистов, которые всегда составляли основное ядро передовых представителей русской научно-инженерной мысли в области гиротехники и гидрологии.

В рассматриваемое время в русской научной литературе все более утверждается правильное представление о круговороте воды в природе, о том, что источником питания рек и озер являются атмосферные осадки. Однако проблема круговорота воды и питания рек все еще оставалась не вполне решенной.

В рассматриваемый период выясняются и некоторые закономерности, свойственные русловым процессам. К. М. Бэр дает объяснение асимметрии рек, как следствия влияния суточного вращения Земли. В «Судоходном дорожнике» 1854—1855 гг. правильно отмечается превалирующее влияние на русловые деформации высоких вод и на обратный характер изменений, производимых в руслах низкими водами. Научное освещение русловых процессов дано в лекциях И. П. Глушинского, где, в частности, извилистый характер рек объясняется действием центробежной силы.

Наконец, к числу научных достижений рассматриваемого периода следует отнести изучение ледового режима рек, о чем более подробно будет сказано в последней главе.

**ВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ПОСЛЕДНЕЙ ЧЕТВЕРТИ XIX в.
НАЧАЛО ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИИ
КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ НАУКИ**

1. Исследования ведомства путей сообщения

Переход России к капитализму.— Развитие торговли.— Усиление внимания к использованию водных путей.— Учреждение Навигационно-описной комиссии.— Описание крупных рек.— Работы А. А. Тилло по гипсометрии.— Организация водомерной сети.— Начало изучения водоносности рек.— Выход в свет крупных работ по гидрографии и русловой гидрологии.

С начала XIX в. в экономике России все заметнее начинают проявлять себя элементы капитализма. Мануфактура постепенно превращается в капиталистическую фабрику, капитализм все сильнее внедряется в земледелие. В связи с большим ростом внутренней и внешней торговли происходит усиленное строительство железных дорог. Работы по расширению использования внутренних водных путей сообщения отодвигаются на задний план.

Следует сказать, что уже в период перехода России к промышленному капитализму в ее внешней торговле увеличился вывоз хлеба. Вместе с тем к концу первой половины XIX в. крупного подъема достигает металлургическая промышленность, а к началу 60-х годов — угольная. Перевозки хлеба, угля, нефти, металла, леса и других строительных материалов особенно увеличиваются после отмены крепостного права и усиления промышленного развития России. Для перевозки всех этих громоздких грузов, не требующих для своей транспортировки больших скоростей, водные пути являются весьма удобными и экономически выгодными.

Естественно поэтому, что в послереформенное время русское правительство начинает уделять большее внимание развитию водных путей, которые, как это стало ясно уже вскоре после

сооружения некоторых линий железных дорог, не могли быть полностью ими вытеснены. Причем главное состояло в том, что была осознана необходимость всестороннего изучения рек. Свидетельством этого является прежде всего создание в 1875 г. при Министерстве путей сообщения Навигационно-описной комиссии (НОК).

Что касается гидротехнических работ — сооружения новых каналов, плузов, водохранилищ, — то они во второй половине XIX в. и в дальнейшем до Великой Октябрьской революции большого развития практически не получили. Крупные работы в это время были в основном произведены лишь на Мариинской системе. В 1883 г. было приступлено к устройству Обь-Енисейского водного соединения. С конца 70-х годов на ряде крупных рек были предприняты значительные выправительные работы.

Большая заслуга в организации Навигационно-описной комиссии принадлежит видному деятелю в области русской гидрографии адмиралу К. Н. Посьету, возглавлявшему с 1874 г. Министерство путей сообщения. В изданном им в мае 1875 г. приказе об организации Навигационно-описной комиссии указывалось на то, что «отсутствие систематических данных о наших реках, озерах и каналах, из которых большинство вовсе не исследовано и не описано, лишает возможности составить проекты по улучшению водяных путей»¹. Действительно, до исследований Навигационно-описной комиссии по существу мало что было известно о большинстве наших рек, кроме направления их течения. Как говорил председатель Навигационно-описной комиссии видный инженер П. А. Фадеев, «даже не было известно в точности их протяжение»². Так, например, длина Волги указывалась в «Гидрографии» Штукенберга равной 3160 верстам, а в словаре Семенова — 3480 верстам; длина Дона соответственно — 1650 и 2000 верстам. Было решено приступить с 1875 г. «к всестороннему научному исследованию, нивелировке и измерению глубин рек, каналов и озер Европейской России и вообще к их подробному описанию в техническом и экономическом отношении»³. В Восточную и Западную Сибирь командировалась группа специалистов для выяснения вопроса о возможности соединения бассейнов рек Енисея и Оби.

Деятельность Навигационно-описной комиссии, существовавшей по март 1884 г., заключалась, во-первых, в съемке, измерении и описании рек и, во-вторых, в организации сети водомерных постов и гидрометрических станций для изучения режима уровней и водоносности рек.

¹ «Журнал Министерства путей сообщения», 1875, кн. 3.

² «Труды съезда инженеров-гидротехников в 1892 г.» СПб., 1892, стр. 1.

³ Там же.

Организованные НОК (а затем Департаментом водяных и шоссейных сообщений) описные партии произвели до 1900 г. изучение и рекогносцировочное обследование всех главнейших рек России, в том числе Волги, Камы, Вятки, Чусовой, Белой, Суры, Оки, Мологи, Северной Двины, Сухоны, Волхова, Свири, Западной Двины, Вислы, Немана, Днепра, Припяти, Днестра, Дона, Северного Донца, Кубани, Оби, Иртыша, Томи, Тобола, Туры, Апгары, Амура, Аму-Дарьи, озер Белого, Ильменского, Онежского и соединительных каналов. Работа Навигационно-описной комиссии подчинялась определенному плану в виде проекта подразделения внутренних водных путей на классы, разработанного комиссией В. И. Массальского и утвержденного, по согласованию с заинтересованными ведомствами, министром путей сообщения. НОК должна была производить исследования в последовательности, отвечающей значению рек в системе внутренних водных путей. Содержание и порядок работы каждой описной партии определялись особой инструкцией, данной начальником партий в 1876 г. В этой инструкции говорилось, что «исследования рек в техническом отношении должны заключать в себе следующие работы:

- 1) съемку местности;
- 2) измерение глубины рек;
- 3) определение нормального уровня воды, с отнесением к нему всех прочих горизонтов;
- 4) определение общего и частного уклонов рек посредством продольной нивелировки;
- 5) нивелирование местности, занимаемой весенними водами и
- 6) определение скоростей течения и расхода воды»⁴.

С 1885 г. описные партии вели работу по еще более обстоятельной «Инструкции для исследования и описания рек», разработанной под руководством Н. А. Богуславского и состоящей из 51 параграфа⁵.

По каждой исследованной реке были составлены подробные планы в масштабе 50—250 саженей в 0,01 сажени с показанием глубин. Нивелировки берегов и уровней воды, привязанные к прочным опорным точкам (реперам), дали возможность составить продольные профили рек. В 1886—1910 гг. были изданы подробные и сокращенные планы и продольные профили следующих исследованных рек: Днепра (г. Смоленск — лиман), Оки (г. Кашира — р. Волга), Камы (г. Дедюхин — р. Волга), Волги (г. Рыбинск — г. Казань), Суры (г. Васильсурск — г. Пенза), Северной Двины (р. Вытегра — р. Вага), Западной Двины (ниже Витебска), Волхова (оз. Ильмень — г. Новая Ладога),

⁴ «Вопросы речного быта». СПб., 1907, стр. 187.

⁵ Там же, стр. 267.

Ангары (оз. Байкал — р. Енисей), Дона (хут. Камач — р. Сосна), Амура (пос. Покровский — ст. Екатерино-Никольская), Десны (р. Болва — р. Днепр), Оби (г. Бийск — юрты Тяголовые), Томи (г. Томск — р. Обь), Иртыша (г. Семипалатинск — г. Омск) ⁶.

Графические материалы, включавшие в себя также полные атласы исследованных участков рек, сопровождалась краткими описаниями исследований и объяснительными записками. Всего было издано до 50 названий монографий, сборников, отчетов, атласов и карт. Данные, полученные описными партиями, были использованы при издании в 1892 г. «Перечня внутренних водных путей Европейской России» и в 1895 г. «Перечня внутренних водных путей Азиатской России», явившихся значительным вкладом в гидрографию нашей родины. В последнем перечне были помещены 161 река длиной 105501 верста, 10 озер и 1 канал (Обь-Енисейский) длиной 7 верст. Перечень по Европейской России в 1907 г. был переиздан ⁷, а в 1911 г. были изданы дополнения и исправления к нему. В перечень 1907 г. вошли 3162 реки длиной 126 508 верст, 201 озеро длиной по направлению главного судоходного рейса 2348 верст и 135 каналов длиной 2727 верст, в том числе 32 судоходных и сплавных капаля длиной 750 верст и 92 сплавных осушительных канала длиной 1891 верста.

Ценным приложением к перечню 1907 г. явилась «Карта внутренних водных путей Европейской России», в масштабе 40 верст в 1 дюйме, с изображением рек, озер и каналов, вошедших в перечень, и с показанием отметок высот средних уровней воды в реках, озерах и каналах относительно уровня моря.

Одновременно с началом широких работ по исследованию рек большое внимание было обращено на изучение рельефа страны, без правильного представления о котором не могла бы развиваться инженерная гидрология. Выдающаяся роль в этом деле принадлежит крупному деятелю в области географии и геодезии А. А. Тилло (1839—1899).

Благодаря его настойчивости и многолетнему труду была создана и в 1889 г. опубликована первая гипсометрическая карта Европейской России в масштабе 1:2 520 000. Карта Тилло изменила имевшиеся тогда представления о рельефе страны. Так, впервые было установлено существование Средне-Русской возвышенности.

Первостепенное значение имело установление А. А. Тилло точных абсолютных отметок озер Ладожского, Онежского и Иль-

⁶ Названия населенных пунктов даются так, как они обозначены на планах.

⁷ Перечень внутренних водных путей Европейской России. СПб., 1907.

меня⁸. Произведенная при этом точная нивелировка Невы показала, что ее полное падение составляет не 59 футов, как считалось, а лишь 16,8 фута⁹.

В 1883 г. Тилло опубликовал статью о длине рек европейской части страны, а в 1888 г.— «Карту длины и падения рек Европейской России». Мы уже указывали на имевшиеся в то время разногласия относительно длины даже больших русских рек. Поэтому Тилло предпринял самостоятельное измерение протяженности рек Европейской России. Ввиду отсутствия подробных гидрографических карт, он воспользовался 10-верстной географической картой. Измерение производилось циркулем с раствором в $\frac{1}{20}$ дюйма. Измерено было 155 рек общим протяжением около 72 000 верст. Каждая река измерялась два раза — по течению и против течения, а для рек длиной более 400 верст производилось еще третье, контрольное измерение. Нетрудно представить, какого огромного труда стоила автору эта работа.

В названных здесь и в ряде других картографических и литературных трудах А. А. Тилло получили освещение основные вопросы орометрии речных бассейнов.

Однако мы еще не сказали о другой, исключительно важной стороне деятельности Навигационно-описной комиссии,— об организации ею сети водомерных постов и гидрометрических станций, ставших надежной основой изучения режима уровня и водоносности рек. Мы видели, что до начала работы НОК систематических, правильно поставленных наблюдений за колебаниями уровней рек у нас не было, а расходы воды и вовсе не измерялись, даже на крупных реках.

Навигационно-описная комиссия внесла в это дело коренной перелом. На заседании в марте 1876 г. комиссия, заслушав доклад П. А. Фадеева «О производстве наблюдений за уровнем воды», приняла постановление о создании системы водомерных постов на внутренних водных путях России, утвержденное К. Н. Посьетом в апреле того же года¹⁰.

Было решено: 1) производить на водомерных постах многолетние наблюдения, руководствуясь при этом выработанными инструкциями; 2) посты устраивать преимущественно на тех водных путях, которые имеют наибольшее значение для судоходства, устанавливая их прежде всего при мостах железных дорог и набережных; 3) по роду и продолжительности наблюдений водомерные посты устраивать трех разрядов. На постах

⁸ Хотя бы, например, потому что с высотами этих озер связывались нивелировки Вышневолоцкой, Тихвинской и Мариинской систем.

⁹ А. А. Тилло. Абсолютная высота озер Ладожского, Онежского и Ильменя. «Журнал Министерства путей сообщения», 1886, кн. 1.

¹⁰ Краткий исторический очерк развития и деятельности ведомства путей сообщения за 100 лет (1797—1897). СПб.,

I разряда наблюдения должны вестись круглый год по три раза в день, в часы, указанные инструкцией Главной физической обсерватории для метеорологических наблюдений. На этих постах фиксируются: состояние погоды (ясно, пасмурно, дождь, снег, туман, ветер, сильный ветер), уровни воды, фазы ледохода, даты прохождения первых и последних судов или плотов в период навигации. На постах II разряда производится те же наблюдения, что и на постах I разряда, но только один раз в день, по утрам, и не в течение всего года, а лишь в период навигации. На постах III разряда ведутся записи уровней лишь в период межени, когда суда должны нагружаться не в полную осадку. Посты I разряда должны отстоять друг от друга, как правило, на расстоянии более 100 верст, а также создаваться в местах впадения значительных притоков. Посты II разряда располагаются друг от друга или от постов I разряда на расстоянии 60—70 верст по длине реки и устраиваются в таких пунктах, чтобы в период их действия можно было в любое время иметь данные о колебаниях уровней в частях рек различного характера. Посты III разряда, устанавливаемые специально для нужд навигации, располагаются преимущественно на мелях и перекатах.

При выборе типов постов комиссия остановилась на речных и свайных постах. Посты первого типа, состоящие из реек, прикрепленных к мостам, набережным и другим сооружениям на реках, предлагалось устраивать в местах, где амплитуда колебания уровня не превышает двух саженей. Посты второго типа, свайные, предложенные инженером А. Ф. Крассовским, предназначались для пунктов с амплитудой колебания уровня более двух саженей. Отсчеты уровней на этих постах производятся по переносной рейке, устанавливаемой на площадках свай, вбитых по откосу берега на таком расстоянии одна от другой, чтобы разница в высоте головок свай была равна $\frac{1}{2}$ сажени.

Все другие организации и частные лица при устройстве постов обязаны были соблюдать общие правила их установки и производства наблюдений на них.

В начале 80-х годов посты III разряда частью были закрыты, частью переведены во II разряд. Одной из причин упразднения постов III разряда было то правильное соображение, что на легко размываемых мелях изменение глубины не находится в прямой зависимости от изменения уровня, так как с понижением горизонта размывающее действие потока на мелких местах увеличивается, ввиду чего глубина на мелях убывает меньше, чем наблюдаемое понижение уровня.

Уже в 1876 г. на внутренних водных путях было открыто 132 постоянно действующих поста. Рост сети водомерных постов в последующие годы виден из следующей таблицы:

Изменение сети водомерных постов

Год	Водомерные посты		
	всего	в том числе	
		I разряда	II разряда
1876	132	67	65
1877	286	90	196
1878	331	99	232
1880	341	107	234
1890	384	143	241

Таким образом, за 1876—1890 гг. число водомерных постов в нашей стране возросло почти в три раза. Но в первое пятилетие далеко не на всех постах наблюдения велись должным образом. Прежде всего нелегко было подобрать подходящих наблюдателей. По этой причине при обработке наблюдений за 1876—1880 гг. оказалось возможным принять во внимание показания лишь 80 постов из 341, действовавших на начало 1881 г.

В 1881 г. впервые были опубликованы сведения об уровнях воды в реках и озерах Европейской России¹¹. Главным содержанием этого издания явились две ведомости: одна — с показанием времени и высоты стояния горизонтов (самого высокого и самого низкого в году, самого низкого судоходного, среднего годового, наиболее продолжительного, весеннего ледохода, осеннего ледохода); другая — с показанием высших, средних и низших горизонтов за каждый месяц. Перед ведомостями помещена инструкция, определявшая сроки и порядок производства наблюдений на водомерных постах. Одновременно был издан альбом хронологических графиков колебания уровней по 80 постам. Это первое издание сведений о колебании уровней некоторых наших рек явилось важнейшим событием в русской гидрологической литературе. Издание этих сведений свидетельствовало о том, что развитие гидрологии русских рек было поставлено, наконец, на прочную основу фактических наблюдений за их режимом.

Сведения об уровнях рек и озер России за последующее 10-летие (1881—1890) были изданы в 1901 г. (по бассейнам Белого и Балтийского морей). Всего же до 1935 г. вышло 10 томов сведений об уровнях рек и озер.

¹¹ Сведения о стояниях уровня воды на реках и озерах Европейской России по наблюдениям на 80 водомерных постах. СПб., 1881.

Относительно наблюдения за уровнями воды в реках скажем еще, что с 1891 г. в Министерстве путей сообщения было организовано ежедневное оповещение заинтересованных лиц и учреждений о стоянии уровней в 21 пункте 15 важнейших рек. Служба кратковременных прогнозов уровней в нижележащих пунктах реки по показаниям водомерного поста в вышележащем пункте впервые была организована В. М. Лохтиным в 1889 г. на Днестре.

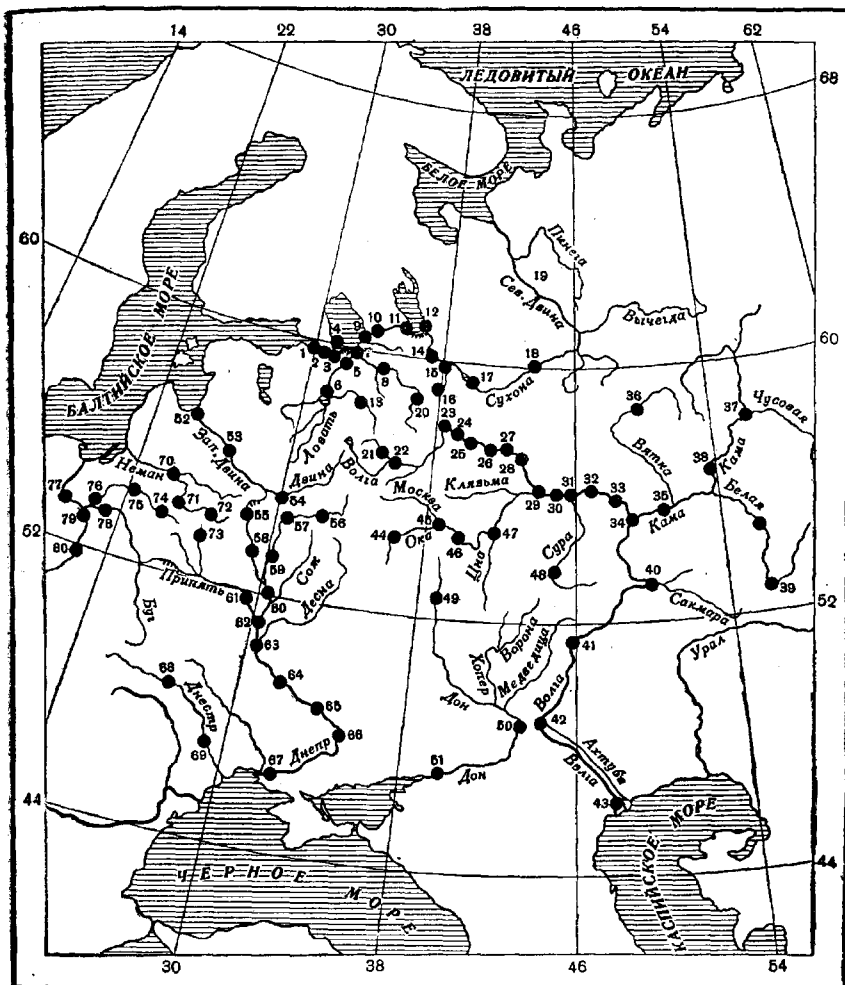
Навигационно-описная комиссия положила начало изучению водоносности рек. Начиная с 1880 г., описными партиями на реках Волге, Оке, Каме, Днестре, Северной Двине были организованы гидрометрические станции, которые, кроме наблюдения за уровнями, в течение нескольких лет производили измерение скоростей течения и расходов воды и влекомых наносов, а также вели метеорологические наблюдения. Так, при исследовании Оки, проведенном в 1879—1880 гг. описной партией под руководством Н. А. Богуславского, было измерено 11 расходов Оки. При этом в 1879 г. средняя скорость на вертикали принималась равной 0,75 наибольшей скорости, измеренной на поверхности, а в 1880 г., когда к вертушке был присоединен электрический звонок, стало возможным измерять скорости на различных глубинах. Измеренные расходы относились ко времени от 16 июня до 14 сентября в 1879 г. и от 25 июня до 12 сентября в 1880 г. и оказались в пределах¹² 164—588 м³/сек.

Сведения о первых гидрометрических станциях на Волге мы находим у Н. А. Богуславского в его книге «Волга как путь сообщения».

Первая волжская гидрометрическая станция была открыта в 1880 г. в г. Ярославле и проработала здесь до июля 1883 г. Затем были устроены станции еще в пяти пунктах, из них в 1886 г. продолжали работать гидрометрические станции у дер. Плохово, в 10 км выше впадения в Волгу р. Унжи, у Васильсурска, ниже устья р. Суры, и у пос. Дубовки, ниже Царицына (Сталинграда). Скорости определялись на нескольких вертикалях, число которых находилось в пределах от 11 до 22, в зависимости от ширины реки, причем измерение производилось в 3—5 точках вертикали, смотря по глубине. Н. А. Богуславский отмечает, что измерения подтвердили теоретический вывод о равенстве средней скорости на вертикали скорости на 0,6 глубины¹³.

¹² Краткое описание исследования реки Оки от Кашеры до Нижнего Новгорода. СПб., 1887.

¹³ Этот теоретический вывод Н. А. Богуславский дает в своей статье «Определение скоростей течения Днепра» («Журнал Министерства путей сообщения», 1878, т. I), в которой он, принимая распределение скоростей по закону параболы, показывает, что средняя скорость на вертикали равна местной скорости на 0,577 глубины.



Карта расположения водомерных постов, показания которых были приняты во внимание при обработке наблюдений за 1876—1880 гг.:

- 1 — Волянино; 2 — Рожновская пристань; 3 — Шлиссельбург; 4 — Маяк Сухо; 5 — Гостинополье; 6 — Новгород (II разряд); 7 — Колчаново; 8 — Тихвин; 9 — Сермаксы; 10 — Важины; 11 — Вознесенье (II разряд); 12 — Черные пески; 13 — Пр. Опечинская (II разряд); 14 — Веловерск; 15 — Ниловицы; 16 — Череповец; 17 — Шлюз Знаменитый; 18 — Тотыма; 19 — Пог. Калегский; 20 — Весвгонск (II разряд); 21 — Торжок (II разряд); 22 — Тверь; 23 — Молога; 24 — Рыбинск; 25 — Ярославль; 26 — Кострома; 27 — Кинешма; 28 — Юрьевец; 29 — Новгород; 30 — Исады; 31 — Васильсурск; 32 — Чебоксары; 33 — В. Услон; 34 — Богородское; 35 — Чистополь; 36 — Вятка; 37 — Пермь; 38 — Сарапул; 39 — Уфа; 40 — Самара; 41 — Саратов; 42 — Царицын; 43 — Астрахань; 44 — Калуга; 45 — Шурово; 46 — Рязань; 47 — Муром; 48 — Промзино; 49 — Гремячино; 50 — Калач; 51 — Ростов; 52 — Фига; 53 — Динабург; 54 — Витебск; 55 — Борисов; 56 — Смоленск; 57 — Могилев; 58 — Бобруйск; 59 — Рогачев; 60 — Лоево; 61 — Мозырь; 62 — Устье р. Припяти; 63 — Киев; 64 — Чернасы; 65 — Кременчуг; 66 — Дюп. Каменка; 67 — Херсон; 68 — Могилев; 69 — Тирасполь; 70 — Ковно; 71 — Гроно; 72 — Столбы; 73 — Слоним; 74 — Гоньондз; 75 — Плонтипы; 76 — Зегрже; 77 — Плопк; 78 — Малнико; 79 — Варшава; 80 — Завихость

Кроме того, говорит Богуславский, измерения показали, что «средняя скорость не всегда равна $\frac{3}{4}$ наибольшей скорости, как это принято считать в гидравлике»¹⁴.

В монографии Н. А. Богуславского приводятся первые достоверные значения расходов воды в ряде пунктов Волги. Так, у г. Ярославля расходы воды в 1880—1883 гг. были: наименьший 243 м³/сек, наибольший 2562 м³/сек, а у г. Васильсурска в 1883—1885 гг. соответственно 804 м³/сек и 16 136 м³/сек.

Позже гидрометрические станции были устроены и в других пунктах на Волге. По 110 измерениям расходов, произведенным в 1888—1900 гг. Самарской гидрометрической станцией, Д. Д. Гнусин впервые вычислил в 1901 г. значения расходов Волги у г. Самары (Куйбышева), которые оказались равными¹⁵:

наименьший	2880 м ³ /сек
наибольший	43770 »
средний жеженный	5900 »
» весенний	23770 »
» годовой	9750 »

Д. Д. Гнусин подсчитал, что во время весеннего половодья (в среднем за 79 дней) по Волге протекает до 52,5% годового объема воды.

Начало систематического изучения водоносности Днепра также было положено Навигационно-описной комиссией, приступившей в 1876 г. к подробному описанию и исследованию реки. Но по расходам для некоторых пунктов, например для Киева, имелись и несколько более ранние сведения.

Подсчеты за 27 лет (1870—1896), произведенные Н. И. Максимовичем¹⁶, дают среднегодовой расход воды Днепра у г. Киева равным 1950 м³/сек. Причем средний расход при «низком» горизонте (продолжительностью 62,93 суток) оказался равным 520 м³/сек, а при «весьма высоком» (продолжительностью 2,27 суток) — 15 520 м³/сек. Н. И. Максимович дает подсчет среднелетнего коэффициента стока (или, как тогда говорили, коэффициента водоносности), который получился для бассейна Днепра выше Киева равным 0,353¹⁷.

Исследование рек, проведенное ведомством путей сообщения в последней четверти XIX в., имело огромное значение для русской гидрографии и развития гидрологических знаний. К концу

¹⁴ Н. А. Богуславский. Волга как путь сообщения. СПб., 1887, стр. 186.

¹⁵ Д. Д. Гнусин. Результаты измерения расходов р. Волги у г. Самары. СПб., 1901.

¹⁶ Н. И. Максимович. Днепр и его бассейн. Киев, 1901.

¹⁷ Это значение преувеличено. Как увидим ниже, по данным Е. В. Опкокова, коэффициент стока Днепра выше Киева равен 0,242.

века были описаны все главнейшие реки страны, пригодные для судоходства и сплава (за исключением несудоходных и несплавных частей); были начаты систематические наблюдения за колебаниями уровней и измерения расходов воды в реках; в ходе этих работ происходила выработка приемов и методов водных исследований. К числу главнейших результатов исследований, начатых Навигационно-описной комиссией, относится создание кадров гидротехников-гидрологов. Из среды участников описных работ выделились такие известные в русской гидротехнике и гидрологии имена, как Н. А. Богуславский, В. М. Лохтин, Н. С. Лелявский, Н. И. Максимович, В. Г. Клейбер и др. Практическое участие в изучении рек и в разработке и осуществлении мер по улучшению их судоходных условий явились для многих инженеров основой формирования их гидрологических взглядов.

Выработке основ гидрологии рек в большой мере способствовали также проводившиеся с 1892 г. в Министерстве путей сообщения ежегодные съезды инженеров-гидротехников и русских деятелей по водным путям. Наконец, в прямой связи с практическим изучением рек, предпринятым Министерством путей сообщения, находится появление в рассматриваемые годы ценных сочинений по гидрографии отдельных рек и речных систем. В некоторых из них трактовались также теоретические вопросы гидрологии. В этом отношении особенно выделяются работы В. М. Лохтина «Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение» и «Река Чусовая».

Как писала редакция журнала «Инженер», работа В. М. Лохтина «Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение», напечатанная в № 11—12 журнала за 1886 г., представила «весьма капитальный вклад в дело регулирования рек». В ней В. М. Лохтин развивает оригинальные мысли о происходящих в русле процессах, в частности об образовании перекатов, кос и островов. При этом причину перераспределения уклонов во время низких и высоких вод и образования перекатов он связывает с тремя обстоятельствами: с продольным профилем русла (влияние скалистых «опорных точек»), с расположением реки в плане (влияние закруглений), с шириной русла (влияние местных уширений). Относительно перекатно-плесовой формы рек В. М. Лохтин пишет, что «меженные плесы и перекаты представляют... результат действия энергичных высоких вод — результат, настолько значительный, что слабые и кратковременные меженные воды не в силах его уничтожить или видоизменить согласно своим условиям течения»¹⁸. Это положение он

¹⁸ В. М. Лохтин. Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение. «Инженер», 1886, № 11—12, стр. 52.

потом развивает в опубликованной в 1895 г. известной монографии «О механизме речного русла».

Заполнением во время высоких вод наносами излишних уширений русла В. М. Лохтин объясняет образование кос, а затем и островов.

В работе «Река Чусовая» В. М. Лохтин, разделяя реки на луговые и горные, говорит, что на последних все явления совершаются резко и быстро и поэтому они «заслуживают серьезного изучения и интересны не только сами по себе, но и в смысле изучения свойств рек вообще»¹⁹.

Рассматривая особенности Чусовой как горной реки, автор касается и некоторых общих свойств рек, характера изменения их скоростей, уклонов, движения поводка; обращает внимание на явления вспучивания реки во время подъема уровня. «Многим вероятно приходилось замечать, — пишет он, — что иногда плывущие на поверхности воды легкие тела, как, например, щепки, листья, пена и проч., придерживаются берега и если даже бросить что-нибудь на середину реки, то оно отойдет постепенно к берегу; иногда же, напротив, все эти тела скучиваются на середине и плывут по ней. Явление это объясняется тем, что средняя часть реки движется быстрее частей, лежащих у берегов; вследствие этого при увеличении расхода воды прибыль скорее распространяется по середине, чем у берегов, середина реки приподнимается и горизонт воды в поперечном направлении образует выпуклую линию; при этом всякое плывущее тело имеет стремление к берегам не только потому, что скатывается как по наклонной плоскости, но и потому, что самое течение более или менее происходит в этом направлении. Напротив, при убыли воды явление происходит в обратную сторону, середина реки представляет пониженную ложбину, плывущие тела имеют стремление попасть в нее и удалиться от приподнятой поверхности воды у берегов. На Чусовой повышение середины в голове вала во время прибыли заметно простым глазом»²⁰.

Крупной работой явилась вышедшая в 1887 г. и уже называвшаяся нами монография Н. А. Богуславского «Волга как путь сообщения». В ней автор, наряду с подробным гидрографическим описанием реки, главной водной артерии России, разбирает вопрос о так называемом обмелении Волги. обстоятельное рассмотрение этого вопроса приводит Н. А. Богуславского к заключению, что в пользу мнения об обмелении Волги не существует ни одного убедительного факта и что вопрос этот может быть решен только в будущем, после продолжительного периода наблюдений.

¹⁹ Лохтин. Река Чусовая. СПб., 1878, стр. 4.

²⁰ Там же, стр. 25. — Высказывания по этому вопросу рассматриваются ниже (см. стр. 164).

В том же году вышла книга М. С. Чернышева «Иртыш» (СПб.), в которой дается детальный гидрографический обзор этой важнейшей для сибирского судоходства реки.

Реки Северного Кавказа и Закавказья нашли прекрасное описание, с обзором истории их исследования, в труде М. Н. Герсеванова «Очерк гидрографии Кавказского края» (СПб., 1886 г.).

Подробному описанию рек Амурского бассейна посвящены два сочинения: Р. О. Юргенсона «О судоходном состоянии р. Амура с притоками» (СПб., 1897) и В. Е. Тимонова «Очерк главнейших рек Приамурского края» (СПб., 1897).

Гидрография страны в целом нашла освещение в работе И. Ф. Леваковского «Воды России по отношению к ее населению» (Харьков, 1890).

В работе И. Ф. Леваковского рассматривается вопрос о связи плотности населения с распределением поверхностных и подземных вод. Говоря о неравномерности этого распределения, автор останавливается на ее причинах, которые он усматривает в различии климатических условий и прежде всего в различных количествах выпадающих осадков и потере на испарение. Вместе с тем он указывает на то, что сами климатические условия зависят от геологического строения местности и что, кроме того, геологические условия влияют на степень обводненности местности непосредственно: от них «зависит возможность или невозможность образования озер, различные способы происхождения рек, направление и их характер, прохождение воды в глубину, появление ее вновь в виде источников и проч.»²¹ И. Ф. Леваковский приводит много интересных фактических сведений о реках, озерах и морях России.

К числу наиболее крупных работ, созданных в рассматриваемое время, относится уже называвшийся капитальный труд Н. И. Максимовича «Днепр и его бассейн». Н. И. Максимович на протяжении многих лет активно участвовал в работах по изучению рек, проводившихся Министерством путей сообщения. В монографии Н. И. Максимовича нашли обобщение собиравшиеся более 20 лет материалы самого автора и то, что было добыто по бассейну Днепра экспедициями И. И. Жилинского по осушению болот в Полесье и А. А. Тилло по исследованию источников главнейших рек Европейской России (деятельность этих экспедиций освещается далее). В своей книге Н. И. Максимович излагает историю Днепра с древнейших времен, дает подробный обзор его гидрографии и освещает гидрологию этой важнейшей водной артерии. Он разбирает много интересных гидрологических вопросов. Так, в книге подробно разбирается

²¹ И. Леваковский. Воды России по отношению к ее населению. Харьков, 1890, стр. 30.

так пазываемый закон Бэра. Этот закон, как уже говорилось, состоит в том, что в результате суточного вращения Земли в реках северного полушария происходит подмыв правых берегов. Н. И. Максимович говорит, что на Днестре, имеющем петлеобразный характер течения, преимущественного размыва правого берега нет, берега размываются попеременно — то правый, то левый. Указывая на то, что экспериментально не доказано влияние вращения Земли даже на тела, движущиеся с большой скоростью (например, орудийные снаряды), он считал, что расчет французского физика Ж. Бабинэ, согласно которому реки в северном полушарии размывают правый берег с силой, равной стотысячной доле давления воды на русло, «не имеет никакого подтверждения» и что «мы должны совершенно отвергнуть гипотезу Бэра»²².

Большое внимание Н. И. Максимович уделяет вопросу о влиянии лесов и болот на питание Днестра. Мы приведем лишь его выводы по этому вопросу: «Питание р. Днестра водами находится в прямой зависимости от сети приносящих ему воду многочисленных притоков, получающих питание из болот или заболоченных лесных низин. Поэтому охрана лесов, торфяных и лесных болот, как главных резервуаров питания в бассейне Днестра, накопляющих и задерживающих снеговую и дождевую воду, должна быть первым государственным мероприятием, направленным к охране правильного равномерного питания рек»²³. Далее мы увидим, что это мнение Н. И. Максимовича было ошибочным.

Много ценных статей по вопросам гидрографии и гидрологии публиковалось в периодических изданиях, и прежде всего в «Журнале Министерства путей сообщения» (в 1882—1886 гг. вместо неофициальной части этого издания выходил журнал «Инженер»), где, в частности, в 1789 и 1884 гг. были напечатаны ценные статьи Н. Моссаковского по гидрографии Днестра.

Упомянутый выше Д. Д. Гнусин был автором весьма обстоятельной статьи «О способах определения скоростей и расходов воды в реках», опубликованной в 1880 г., т. е. в момент развертывания исследования рек. В ней он дал систематическое и критическое описание приемов и способов определения скоростей с целью измерения расходов воды. В статье описываются инструменты для определения скоростей, излагаются способы производства измерения скоростей и определения расходов, анализируются эмпирические формулы для скоростей течения воды, рассматриваются решения задачи определения расхода при данном горизонте по расходам при других горизонтах (кривая рас-

²² Н. И. Максимович. Указ. соч., стр. 212.

²³ Там же, стр. 287.

ходов). Автор не ограничивается только гидрометрическими вопросами, но касается многих свойств речного потока, его гидродинамики и гидравлики. Такой обобщающей работы по гидрометрии в то время не было еще ни в русской, ни в иностранной литературе.

2. Исследования ведомства государственных имуществ и земледелия

Западная экспедиция по осушению болот.— Вопрос о влиянии осушения болот Полесья на водность рек и на климат.— Северная экспедиция по осушению болот.— Мелиоративные изыскания в Ишимской и Барабинской степях.— Вопрос об усыхании озер Западной Сибири и Казахстана.— Экспедиция по орошению на юге России.— Изыскания на Кавказе и в Туркестане.— Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России.— План В. В. Докучаева по упорядочению водного хозяйства в степях России.— Экспедиция для исследования источников главнейших рек Европейской России.— Вопрос о гидрологической роли болот и лесов.— Труды Е. А. Гейнца по исследованию водоносности.— Исследование озер.— План мероприятий по охране вод.

Необходимость расширения после реформы 1861 г. вывоза за границу продуктов сельского хозяйства в обмен на оборудование для строившихся промышленных предприятий заставила русское правительство обратить внимание на разработку мер по подъему сельскохозяйственного производства. С этой целью в мае 1872 г. была создана «Комиссия для исследования нынешнего положения сельского хозяйства и сельской производительности в России» во главе с министром государственных имуществ П. А. Валуевым. Комиссия признала возможным значительно развить скотоводство при условии осушения обширных болотистых местностей в северных и центральных губерниях и увеличения при помощи искусственного обводнения луговых площадей на юге страны. В результате работы комиссии в 1873 г. в Министерстве государственных имуществ были организованы две экспедиции по осушению болот: Западная и Северная. Обе экспедиции возглавлял И. И. Жилинский, бессменный руководитель мелиоративных изысканий и сельскохозяйственных гидротехнических работ в последующие 35 лет. Это был замечательный организатор с широким, насколько это было возможно в условиях того времени, пониманием задач рационального изменения водного режима страны.

В гидрологическом отношении большой интерес представляла Западная экспедиция. Районом ее деятельности была обширная территория Полесья, или Пинских болот, составляющая бассейн Припяти, правого притока Днепра, площадью около 8 млн. десятин открытых болот. Большой масштаб этих работ может

характеризоваться и произведенными на них затратами, которые составили за 25 лет 4 708 609 руб., т. е. в среднем около 200 тыс. руб. в год, что представляет цифру в то время довольно значительную.

Вся указанная территория была исследована экспедицией в орографическом и гидрографическом отношении, причем длина нивелировочных ходов, образовавших 320 многоугольников, составила 25 тыс. верст. Проведенные в 1873—1874 гг. изыскания показали ошибочность существовавшего до того мнения, что болота Полесья не имеют никаких склонов и лежат даже ниже ближайших рек, что большая часть местных рек, в особенности Припять, не имеют достаточных уклонов и что болота образовались и поддерживаются подземными источниками, имеют очень большую глубину и поэтому не могут быть осушены.

Относительно питания рек Полесья было установлено, что основные массы воды поступают в них из мест, расположенных за пределами Полесья, главным образом с Вольнских высот, которые, имея значительную облесенность, задерживают большое количество атмосферной влаги.

Экспедиция организовала гидрометрические исследования. В 1873 г. были произведены первые определения расходов воды в Припяти, причем скорости сначала измерялись пошлавками, а с 1877 г. вертушками. Велась также наблюдения за уровнями воды. После того, как в 1876—1877 гг. на Припяти было устроено шесть водомерных постов Министерства путей сообщения, гидрометрические исследования экспедиции были сосредоточены главным образом на притоках Припяти. Однако, ввиду ограниченности средств, с 1882 г. гидрометрические работы были прекращены, за исключением наблюдения за уровнями Припяти на постах в городах Мозыре и Пинске. Возобновление этих работ последовало лишь в 1893 г., когда после засухи 1891 г. возникли опасения, не вызовет ли осушение Полесья неблагоприятного влияния на климат окружающих местностей и на состояние водных путей. К концу работы Западной экспедиции (1898) на притоках Припяти и на осушительных каналах было устроено 13 водомерных постов, на которых велась ежедневные наблюдения за уровнями и эпизодические определения расходов воды.

Экспедицией проводились метеорологические наблюдения, для чего в трех пунктах исследуемого бассейна были устроены метеорологические станции. Наблюдения велись за осадками, температурой и влажностью воздуха, облачностью, ветрами, испарением. По данным за 33-летний период, оказалось, что среднегодовое количество выпадающих в Полесье осадков равно 550 мм, со следующим распределением по временам года: лето — 233 мм, осень — 110 мм, весна — 113 мм, зима — 104 мм. На

основании материалов метеостанций А. И. Воейков, руководивший с 1893 г. метеорологическими наблюдениями Западной экспедиции, написал работу «Климаты Полесья».

Вопрос о возможности неблагоприятного влияния осушения Пинских болот на климат Полесья и соседних областей и на водные пути возник уже в самом начале работы экспедиции, когда ею на основании изысканий 1873 г. был составлен план осушения болот на огромной площади в 8 млн. десятин. Рассматривая в марте 1875 г. этот план, Техническо-инспекторский комитет шоссейных и водяных коммуникаций Министерства путей сообщения высказал по вопросу об опасности обмеления рек и искусственных водных путей заключение, что «от правильного распределения болотных вод путем канализации можно ожидать даже некоторой пользы для означенных водных путей»²⁴. В своем заключении на проект осушения пинских болот академик А. Ф. Миддендорф указывал на то, что существует два рода болот: наплавные и ключевые. Осушение болот первого рода, к которым как раз и относятся болота Полесья, не может произвести никакого изменения в режиме прилегающих рек, так как эти болота, представляя собою котловины с непроницаемым ложем, лишь задерживают в себе воду, не отдавая ее рекам. Осушение же ключевых болот может, говорил Миддендорф, повести к менее правильному распределению стока рек, поскольку ключевые болота оказывают на него регулирующее влияние. Однако он, имея в виду огромную пользу осушения во многих отношениях, советовал не останавливаться перед осушением и ключевых болот, устраивая в этом случае искусственные водоемы для регулирования режима судоходных рек²⁵. По поводу влияния болот на регулирование климата Миддендорф высказался отрицательно. Общий вывод Миддендорфа гласил, что «в целях сохранения достаточной влаги в воздухе и воды в судоходных реках, надо заботиться не о том, чтобы сохранить болота с вечнопарящим над ними призраком смерти, а о том, чтобы беречь и разводить леса»²⁶. В отрицательном смысле высказался тогда же по вопросу о влиянии осушения болот на влажность климата и академик К. С. Веселовский.

В связи с возникновением вновь этой проблемы после засухи 1891 г. Е. А. Гейнц в статье 1892 г. показал²⁷, что какого-

²⁴ Приложения к очерку работ Западной экспедиции по осушению болот. СПб., 1899, стр. 294.

²⁵ И. И. Жилинский. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот. СПб., 1899, стр. 425.

²⁶ Там же.

²⁷ Е. А. Гейнц. К вопросу о влиянии осушения Пинских болот на осадки соседних местностей. 1892. «Записки Академии наук», 1893, т. LXX, Приложение № 9.

либо изменения климата окружающих местностей в результате осушения Пинских болот не замечастся.

В своем ответе на запрос Министерства земледелия и государственных имуществ К. С. Веселовский, ссылаясь на исследования Гейнца и других авторов и развивая собственные соображения, вновь подтвердил свое мнение об огромной пользе осушительных работ, заявив, что «ввиду ничем неоправданных опасений относительно неблагоприятных последствий от осушительных работ в России должно в интересах народного хозяйства искренно пожелать не сокращения или приостановки этих работ, а напротив — их возможного расширения и ускорения»²⁸.

Е. В. Оппоков, автор главы «Очерка работ Западной экспедиции по осушению болот», посвященной гидрометрическим исследованиям, будущий крупный русский гидролог, сопоставляя графики изменения количества выпадающих осадков по месячным их суммам и колебания уровней в Припяти в 1875—1897 гг., приходит к выводу, что «уровень Припяти, как и других рек, главным образом зависит от количества выпадающих атмосферных осадков» и что «все прочие факторы, влияющие на высоту уровня, в сравнении с атмосферными осадками, отстают, так сказать, на второй план»²⁹. Это краеугольное положение гидрологии, отчетливо сформулированное в 1884 г. А. И. Воейковым в его выдающемся произведении «Климаты земного шара, в особенности России», о котором подробно будет сказано в следующем параграфе, и графический метод исследований соотношения между стоком и осадками нашли последовательное развитие в дальнейших трудах Е. В. Оппокова. Относительно осушительных работ в Полесье он писал, что они «ни в коем случае не могут быть поставлены в ряду крупных факторов влияния их на уровень рек»³⁰, считая вместе с тем, что это влияние на меженный уровень и расход Припяти должно быть положительным.

Многолетние колебания уровней в реках Е. В. Оппоков объяснял периодическими колебаниями климата, установленными профессором Бернского университета Э. Брикнером в работе «Колебания климата с 1700 г.», в которой он, на основе данных наблюдений за погодой, за режимом рек и озер (в частности, Каспийского моря), за некоторыми явлениями живой природы, пришел к заключению о существовании 35-летних (иногда 20—50-летних), то прохладных и влажных, то теплых и сухих, периодов в колебаниях климата земного шара.

²⁸ И. И. Жилинский. Указ. соч., стр. 607.

²⁹ Там же, стр. 383.

³⁰ Там же, стр. 403.

Проведенные в 1873—1898 гг. исследования и осушительные работы в Полесье не только дали богатый фактический материал по этой обширной болотистой области и доказали возможность осушения болот, но имели и большое значение в разработке общих проблем гидрологии и в выяснении гидрологической роли болот. Объем мелиоративных работ, выполненных экспедицией за 25 лет, был весьма велик: она провела 4660 км осушительных каналов и частично отрегулировала 135 км рек³¹.

С 1876 г. силами Западной экспедиции были проведены изыскания и осушительные работы в лесных казенных дачах в центральном районе, именно в Рязанской, Владимирской, Московской и Тверской губерниях. За 20 лет здесь было создано 888 верст осушительных каналов и каналов по спрямлению рек. Основной целью осушительных работ в этом районе явилось улучшение условий лесопроизрастания и сплава леса.

Кроме Полесья и центральных губерний, Западная экспедиция проводила отдельные изыскания с целью осушения болот также в ряде других губерний, например в Черниговской, Витебской, Смоленской, Полтавской.

Относительно работ Северной экспедиции по осушению болот можно ограничиться лишь краткими сведениями. Эти работы проводились в Петербургской, Новгородской, Псковской и прибалтийских губерниях. Площадь болот, на которой проводились изыскания, начатые в 1873 г., составила около 2 млн. десятин, причем протяжение нивелировочной сети достигло к концу 35-летнего периода изысканий и мелиоративных работ 50 тыс. верст, а протяжение канализационной сети — 2500 верст.

Изыскания здесь, как и в Полесье, центральных и других губерниях, кроме топографической съемки, имели целью выяснение размера площади болот, характера их происхождения, строения и питания и установление способов их осушения. Таким образом, благодаря работам Северной экспедиции были получены ценные материалы по важнейшему гидрологическому объекту Европейской России — ее болотам, явившиеся известным вкладом в мелиоративную гидрологию, хотя и не столь значительным по сравнению с исследованиями в Полесье.

В 1895 г. широкие мелиоративные изыскания и работы были начаты также в Сибири. Непосредственным поводом для этих работ явилось сооружение Сибирской железной дороги, вызвавшее необходимость ускоренного заселения прилегающих к дороге местностей и подъема экономического уровня богатейших в природном отношении районов Сибири. Голод 1891—1892 гг. в центральных и южных губерниях России особенно усилил поток переселенцев в Сибирь.

³¹ И. С. Лупинович, С. Г. Скоропанов, З. Н. Денисов. Преобразование природы Полесской низменности. М., 1953.

Однако заселение Западной Сибири не могло быть успешно осуществлено без проведения в этом крае мелиоративных работ. Эти работы и были возложены на образованную Министерством земледелия и государственных имуществ весной 1895 г. экспедицию в составе четырех гидротехнических партий под общим руководством И. И. Жилинского. Районом деятельности гидротехнических партий была бедная доброкачественными питьевыми водами Ишимская степь, расположенная по обе стороны от линии железной дороги на водоразделах рек Тобола, Ишима и Иртыша, а также заболоченная низменность между реками Иртышом и Обью, в бассейне озер Чаны и Сартлан и верхнего течения р. Оми, носящая название Барабинской степи.

Изысканиями, расширившимися с 1898 г. за пределы указанных степей, к 1904 г. был охвачен огромный район площадью свыше 1 млн. км². Программа изысканий в основных районах включала в себя топографические съемки, гидрогеологические исследования и гидрометрические наблюдения. В план работ по Ишимской степи входило отыскание грунтовых вод, утилизация их путем устройства колодцев, собирание атмосферных осадков в прудах, устраиваемых в оврагах и балках, поднятие уровня вод неглубоких пресных озер путем проведения к ним водосборных каналов, а также путем устройства дамб, ограничивающих размеры озер.

Что касается гидрометрических работ, то объем их был весьма ограниченным: лишь на нескольких реках были произведены единичные измерения расходов воды; наблюдения за колебаниями уровней велись в редких случаях. В 1898 г. был устроен водомерный пост для изучения колебаний уровня оз. Чаны. Данные первых же лет работы этого поста показали непосредственную зависимость горизонта озера главным образом от метеорологических условий года, но, конечно, не могли пролить свет на вопрос о том, усыхает ли это озеро. Автор раздела по гидрографии Барабинской степи, составленного под руководством И. И. Жилинского общего «Очерка гидротехнических работ в районе Сибирской железной дороги», ссылаясь на показания местных жителей, считает, что «озеро Чаны, видимо, находится в стадии усыхания»³², по крайней мере за последнее столетие, но одновременно высказывает предположение о возможной смене периода усыхания периодом повышения уровня озера.

На явление усыхания озер Западной Сибири и Арало-Каспийской низменности впервые обратил внимание Н. М. Ядринцев, напечатавший в 1886 г. в «Известиях Русского географического общества» статью «О усыхании озер в Западной Сибири».

³² И. И. Жилинский. Очерк гидротехнических работ в районе Сибирской жел. дор. по обводнению переселенческих участков в Ишимской степи и осушению болот в Барабе. 1895—1904. СПб., 1907.

ческого общества» статью «Уменьшение вод в Арало-Каспийской низменности в пределах Западной Сибири». Сравнивая очертания оз. Чаны и смежных с ним озер на картах за столетний период, Ядринцев устанавливает факт усыхания озер Западной Сибири. Он воздерживается от высказывания какой-либо гипотезы для объяснения уменьшения вод в озерах, но считает, что «различные подробности и изменения очертания озер и их границ за какие-нибудь сто лет... явно указывают на продолжение какого-то великого мирового процесса, у которого мы еще стоим немymi зрителями»³³.

Русское географическое общество, заинтересовавшееся поднятым Ядринцевым вопросом, решило провести наблюдение за изменениями уровня западносибирских озер по специально разработанной для этой цели «Программе собирания сведений об усыхании озер». При разработке этой программы общество обращалось через А. И. Воейкова за советом к известному исследователю Женевского озера профессору Ф. А. Форелю, который откликнулся присылкой обширной «Инструкции для исследования озер», в которой он сжато изложил выработанные им в результате собственных многолетних исследований основные положения науки об озерах (лимнологии).

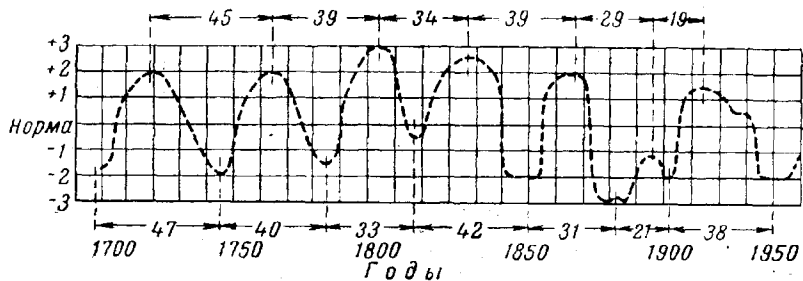
Н. М. Ядринцев в своем обращении в комиссию Географического общества, рассматривавшую его предложение об организации наблюдений за озерами Западной Сибири, приводя сведения об усыхании и даже исчезновении многих озер, вместе с тем указывал на случаи, когда высохшие озера вновь наполнялись водой.

В «Очерке гидротехнических работ в районе Сибирской железной дороги» было высказано мнение, что явление многолетней периодичности в колебании уровня относится ко всем многочисленным озерам Западной Сибири. Но вместе с тем констатировалась общая тенденция к обмелению озер Западной Сибири вследствие ряда причин: уменьшения лесных площадей, увеличения фильтрации в глубь грунтов (в результате постепенных изменений в строении грунтов, слагающих ложе озер), предполагаемого уменьшения количества атмосферных осадков³⁴.

³³ Н. Ядринцев. Уменьшение вод в Арало-Каспийской низменности в пределах Западной Сибири. «Известия Русского географического общества», 1886, т. XXII, вып. 1.

³⁴ Наиболее подробно вопрос о циклических колебаниях уровня озер Западной Сибири был рассмотрен в последнее время А. В. Шнитниковым в статьях: «Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата» («Труды лаборатории озераведения АН СССР», т. I, 1950) и «Общие черты циклических колебаний уровня озер и увлажненности территории Евразии

Исследованиями Барабинской степи было установлено, что источником питания ее рек, кроме местных атмосферных осадков, служит северная часть степи, где на огромной площади свыше 30 тыс. кв. верст между редкими возвышенными гривами, покрытыми лиственными и хвойными лесами, раскинулись обильные хранилища атмосферной влаги — моховые болота, в которых большую часть года, а местами и круглый год лежит медленно тающий лед, непрерывно питающий реки. Таким образом, в отличие от болот Полесья, растрачивающих испарением атмосферную влагу, в этом случае болота, находясь в



Внутрисековые колебания уровня озер Западной Сибири и Северного Казахстана

широтах с пониженными температурами, являются источниками питания и регуляторами режима рек.

Еще в 30—40-х годах, а особенно со второй половины XIX в., стал обсуждаться, в частности, на страницах «Трудов Вольного экономического общества» и в журнале Министерства государ-

в связи с солнечной активностью» («Бюллетень комиссии по исследованию солнца», 1949, № 3—4 (17—18)). Основываясь на многочисленных литературных источниках, содержащих сведения об озерах примерно за 250 лет, а также на данных наблюдений на оз. Чаны, начатых в 1898 г., а позже и на других озерах, автор дает график внутрисековых колебаний уровня озер Западной Сибири и Северного Казахстана с шестью циклами, продолжительностью от 29 до 45—47 лет. Далее, сопоставляя между собой отклонения от нормы атмосферных осадков, испарения и колебаний уровня озер, автор констатирует тесную зависимость уровня озер от атмосферных осадков и температуры воздуха, причем уровни озер следуют за активностью осадков с запаздыванием на 2—4 года. Исследования А. В. Шнитникова подтвердили, таким образом, мнение Л. С. Берга, утверждавшего, что «о прогрессивном высыхании озер Западной Сибири, Казахстана и Туркестана не может быть и речи. Происходят только колебания уровня вверх и вниз в соответствии с колебаниями климата, обнимающими немногие десятки лет» (Л. С. Берг. Климат и жизнь, М., 1947, стр. 35), но подтвердили с оговоркой, что, по Шнитникову, существуют многовековые, примерно 1800-летние, циклы колебаний влажности климата и водности рек и что в настоящее время, начиная с XV в., длится цикл пониженной увлажненности и водности рек.

ственных имуществ вопрос об ирригации в южных губерниях России. Проводившиеся до 80-х годов этим министерством и отдельными частными лицами оросительные работы на небольших участках показали, что успех дела ирригации может быть достигнут только при условии, что работы будут производиться по общему плану, основанному на предварительных всесторонних исследованиях юга России. Именно для производства таких исследований, а затем и самих ирригационных работ в 1880 г. при Министерстве государственных имуществ была организована Экспедиция по орошению на юге России под руководством И. И. Жилинского. При этом под югом России подразумевалось огромное пространство площадью более миллиона кв. км, примыкающее к Северному Кавказу и ограниченное с востока р. Уралом, с запада Днестром и простирающееся на север до притока Волги р. Самары и до линии, проходящей через города Самару (Куйбышев), Воронеж и Балту до Днестра. В программу экспедиции входили топографические, гидрогеологические, гидрологические и метеорологические исследования.

Однако выполнить программу в намеченном объеме экспедиции не удалось. Уже в 1881 г., в связи с сильным недородом 1880 г. в Самарской, Саратовской и Екатеринославской губерниях, экспедиция должна была переключить свои незначительные силы (в экспедиции насчитывалось всего около трех десятков человек технического и агрономического персонала) на организацию работ по устройству водохранилищ для обводнения и орошения некоторых казенных участков с целью предоставить трудовую помощь пострадавшему от неурожая населению указанных местностей, на что в 1881 г. была ассигнована крупная сумма в 500 тыс. руб. Затем ассигнования вновь были резко сокращены вплоть до 1892 г., когда после жестокого неурожая 1891 г. экспедиции было выделено на общественные ирригационные работы 465 тыс. руб.

Не располагая ни в начале своей деятельности, ни десять лет спустя данными о водном режиме местностей, где производились гидротехнические работы, экспедиция устраивала водохранилища без обоснованных гидрологических расчетов, ввиду чего водохранилища нередко собирали очень мало воды и не приносили той пользы, которая ожидалась от них.

Деятельность экспедиции, мало что давшая в научном и практическом отношении за первые 10 лет, вызвала серьезные нарекания со стороны общественности. Так, в октябре 1890 г. работа экспедиции подвергалась резкой критике на заседании Русского технического общества. Выступавший на этом заседании П. А. Косычев говорил, что в южных степях дождевой воды достаточно, что неурожай — «результат нашего неумения

хозяйничать» и что «нет особенно настоятельной необходимости заботиться о каком-нибудь обогащении нас водою»³⁵.

П. А. Костычев ошибочно недооценивал важность искусственного орошения на юге России, но был прав в своей критике в адрес руководителей гидротехнических работ насчет необоснованности проектов строившихся водохранилищ в гидрологическом отношении.

Заметное развитие изыскания южной экспедиции получили лишь в следующем десятилетии, в 1892—1902 гг., причем с 1890 г. они были распространены также и на Северный Кавказ, Закавказье, Семиреченскую (бассейн р. Или) и Уральскую области. В Закавказье заведывание всем водным хозяйством было возложено на особую Инспекцию вод (в составе 23 чел.), которая должна была произвести водные исследования для целей орошения и осушения и защиты от наводнений. К исследованиям оказалось возможным приступить лишь с 1899 г. В частности, в 1901—1902 гг. были проведены обширные изыскания для составления проекта регулирования Терека. В те же годы изыскательские работы были развернуты в Муганской степи в Закавказье на площади более 300 тыс. десятин.

В 1893 г. в водных исследованиях, проводившихся в Симбирской, Самарской, Саратовской, Воронежской губерниях, принял участие известный геолог и активный поборник идеи планового использования водных ресурсов страны С. Н. Никитин. Для этих исследований Никитиным была составлена подробная инструкция³⁶.

³⁵ Об обводнении южной степной полосы России (обсуждение в Русском техническом обществе 20 октября 1890 г.). П. А. Костычев рассказал о таком факте гидрологически необоснованного сооружения водохранилища: «Плотина, устроенная для орошения в одной из наших южных губерний, действительно великолепна. Орошение рассчитано на снеговую и дождевую воду, так что плотина устроена в сухой балке. Не знаю, чем руководствовались при ее закладке и каким образом был сделан расчет ожидаемого количества воды, но в конце концов получился такой результат, что никогда в этой плотине уровень воды не доходил до водосливной трубы (назначенной для снабжения водою оросительных каналов) по крайней мере на сажень, и, таким образом, в течение пяти-шести лет не было возможности произвести при помощи этой плотины никакого орошения... При этой плотине постоянно жил инженер для наблюдения за нею и было чрезвычайно прискорбно видеть, что он с особой строгостью наблюдал, чтобы скот окрестных крестьян не пил оттуда воды».

³⁶ С. Никитин и И. Кравцов. Экспедиция по орошению на Юге России. Геологические и гидрологические исследования. СПб., 1893.

По исследованию рек инструкция предусматривала следующий широкий круг вопросов: «Какова ширина и глубина реки в нескольких наиболее типичных местах. Скорость ее течения (поплавком) в местах различных по длине, глубине и ширине поверхности в разное время года и при разных атмосферных условиях, величина естественного падения реки на определенных расстояниях, определяемая нивелировкой. Свободно ли течение или перегорожено плотинами? В скольких местах?

Относительно цели гидрогеологических исследований в очерке о них Никитина и Кравцова говорится, что эта цель состояла в том, чтобы внести «посильный вклад к решению задачи изучения и наиболее целесообразного в общих интересах страны использования водных запасов, драгоценнейшего из всех полезных ископаемых, на котором покоятся основы благосостояния и надежд нашей земледельческой страны».

Однако и во втором периоде работ экспедиции ее руководителю приходилось преодолевать серьезные препятствия в водных исследованиях и гидротехнических работах на юге. Так, при определении размера ассигнований на 1895 г. Министерство финансов в своем письме Министерству земледелия и государственных имуществ³⁷ от 15 октября 1894 г. выдвинуло против развития оросительных работ на юге следующие правовые и «научные» возражения: «На основании 387-й статьи 1 части X тома, реки, озера, пруды, болота и источники считаются принадлежностями земель и, следовательно, подобно всем другим предметам, на поверхности земель обретающимся, и всем находящимся в недрах ее ископаемым, принадлежат собственникам земли. Министерство земледелия не может распоряжаться чужою собственностью даже в видах защиты прибрежных жителей от наводнения...». И далее: «...многие агрономы относятся скептически к самому источнику поливного орошения, а именно к собиранию весенних вод в особые водоемы. Никакого обилия весенних вод в наших степях не замечается, зимние же осадки, благодаря равнинности почвы и постепенному таянию, естественно проникают в почву. Только в редких и исключительных случаях их можно собирать в особые водоемы, в большинстве

На какую высоту поднята вода плотинами? Определение количества воды, пробегавшей по мельничным желобам (поплавром) при закрытых шлюзах. Постоянно ли течение или прерывается в жаркую пору? Свойства воды в получающихся в последнем случае замкнутых участках и котловинах. Высота весенних вод над нормальным летним стоянием за несколько лет по распросным сведениям, а за последний год по липии приборя мусора к берегам. Продолжительность стояния высоких вод, время паводка и спада вод. Влияние крупных рек на задержку разлива их притоков, озеровидные расширения русел. Площадь заливных мест, измеренная шагомером. Наинизшее стояние воды, подъем воды после сильных ливней. Изменения русла, разрушения берегов, заволакивание старого русла, старицы, образование песчаных перекатов и другие особенности речных долин и русел».

³⁷ Весной 1894 г. Министерство государственных имуществ было преобразовано в Министерство земледелия и государственных имуществ. В составе Министерства был создан отдел земельных улучшений (ОЗУ) с возложением на него мелиоративных изысканий и работ. В мае 1905 г. произошло преобразование Министерства земледелия и государственных имуществ в Главное управление землеустройства и земледелия. В начале 1916 г. было создано Министерство земледелия. При обоих преобразованиях ОЗУ сохранялся.

же случаев такое собрание равносильно отнятию у земли естественного орошения с заменою его искусственным, что едва ли оповзательно»³⁸.

По поводу источников воды для орошения и обводнения на юге России экспедиция пришла к выводу, что основным, а часто и единственным источником здесь могут быть атмосферные осадки, собираемые в водохранилища. Некоторым подспорьем могут явиться также ключевые воды.

Что же касается рек, в том числе Волги, Дона, Днепра, Днестра, то относительно использования их вод заключение экспедиции весьма пессимистично: она полагает, что эти и другие реки в южной полосе России не могут быть использованы для целей орошения вследствие того, что они имеют небольшие уклоны и текут большею частью в таких глубоких руслах, что их ординарный уровень иногда на 20—30 саженей ниже прилегающих к ним местностей. «Для подъема уровня воды в таких реках,— говорится в «Очерке работ экспедиции по орошению на юге России и на Кавказе»,— потребовалось бы сооружение громадных и слишком дорогих плотин»³⁹.

Неутешительный вывод экспедиции по поводу использования обильных вод наших крупнейших рек, разумеется, был вполне естественным, так как, действительно, в условиях отсталой царской России сооружение плотин, подобных построенным и строящимся при Советской власти, было немыслимо и, следовательно, водный режим южных степей не мог быть подвергнут серьезному изменению.

Уже вскоре после своего образования Министерство земледелия и государственных имуществ обратило внимание на необходимость водных исследований в Туркестанском крае, имеющем наиболее благоприятные условия для развития отечественного хлопководства.

В 1895 г. в Туркестан были командированы три партии, которые на основании изысканий составили ряд проектов по искусственному орошению земель, не получивших, однако, до революции осуществления, за исключением орошения некоторой площади на севере Голодной степи.

Интенсивные, широко и правильно поставленные гидрологические исследования в Туркестане были начаты позже, с 1910 г., о чем будет сказано ниже.

Все вышеописанные экспедиции, проведенные в рассматриваемом 25-летию ведомством государственных имуществ, наряду с исследованием водного режима районов их деятельности,

³⁸ ЦГИАЛ, д. 426, оп. 1, д. 2, л. 368—370.

³⁹ И. И. Жилинский. Очерк работ экспедиции по орошению на юге России и на Кавказе. СПб., 1892.

имели своей главной задачей производство сельскохозяйственных гидротехнических работ с целью осушения, обводнения и орошения.

И если гидротехнические работы экспедиций во многих случаях не дали желаемого эффекта, то научные результаты деятельности экспедиций имели большое значение. Работая в течение длительных периодов, они собрали ценные сведения по гидрографии и водному режиму обширных местностей обеих частей России и помогли выяснению многих важных вопросов гидрологии суши.

Экспедиции по осушению на западе и севере и по орошению на юге в июне 1902 г. были ликвидированы, а их функции в Европейской России перешли непосредственно к отделу земельных улучшений и к местным управлениям государственных имуществ⁴⁰.

Среди экспедиций, проведенных в конце XIX в. ведомством государственных имуществ, большое значение для развития гидрологии имели Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России и Экспедиция по исследованию источников главных рек Европейской России. Особенностью обеих этих экспедиций было то, что они ставили перед собой исключительно исследовательские и опытные цели. Основной задачей, возлагавшейся на ту и другую экспедиции, была выработка на основе исследований практических мер по упорядочению водного хозяйства, необходимость чего с особой остротой возникла после засухи 1891 г.

Особая экспедиция была организована лесным департаментом Министерства государственных имуществ весной 1892 г. Руководство ею было поручено выдающемуся русскому ученому профессору В. В. Докучаеву, выступившему после неурожая 1891 г. с широким планом мероприятий в области водного хозяйства. Этот план В. В. Докучаев изложил в записке «К вопросу о регулировании водного хозяйства в степях России», которую он зачитал зимой 1891/92 г. на одном из совещаний в созданном тогда Управлении общественными работами во главе с М. Н. Анненковым. План, изложенный в записке, составил VII главу вышедшей в 1892 г. известной монографии В. В. Докучаева «Наши степи прежде и теперь». В этой книге, проследившая эволюцию поверхности и речных русел южнорусских степей (гл. II), Докучаев отмечает постепенное углубление рек и понижение в связи с этим уровня грунтовых вод. Затем он указывает на то, что «вместе бок о бок с углублением речных

⁴⁰ Обзор деятельности Министерства земледелия и государственных имуществ за 8-й год его существования. СПб., 1902.

долин, шло и непомерное, так сказать, совершенно ненужное (для данного летнего количества речных вод) расширение их, измеряемое иногда верстами и десятками верст, при ширине живой струи (разумею реки средней величины) в десятках и реже несколько десятков сажен. А так как и то и другое, и углубление и расширение, если и не всегда, то во многих случаях влекло за собою загромождение русла, особенно низовых частей его, различного рода наносами, то неизбежно уменьшалась скорость течения реки — последняя начинала идти по кривой (зигзагами), а не по прямой дороге, дробилась сначала на отдельные слабые рукава, а потом на изолированные озера и болота, делающиеся снова рекой только во время кратковременных водополей. Вследствие всего этого площадь испарения и просачивания, конечно, увеличивается, а жизнь реки мало-помалу совершенно гаснет, хотя бы годовое количество атмосферных осадков и оставалось прежнее»⁴¹. Докучаев указывает на большое распространение в южных степях и таких рек, которые «родились стариками», не имеют своего русла и определенных берегов, «воспользовались», и до сих пор довольствуются блюдцами, лобжинками и западинами, которые остались после ледника, и только больше заболотили их⁴². Поскольку, говорит Докучаев, оба типа «речных стариков» существуют в степях, это «не может не свидетельствовать о некотором расстройстве, хотя и вполне естественном, водного хозяйства южной России»⁴³.

Рассматривая, далее, влияние на водный режим степей растительного покрова, Докучаев указывает на пагубные последствия лесостребления.

Относительно климата степей он говорит, что зимы на юге России стали более суровыми, а лета более знойными. В. В. Докучаев приходит к выводу, что «наша черноземная полоса, несомненно, подвергается, хотя и очень медленному, но упорно и неуклонно прогрессирующему иссушению»⁴⁴.

Предложенный В. В. Докучаевым план упорядочения водного хозяйства в степях России предусматривал обширный круг мероприятий. Прежде всего он предлагал произвести регулирование рек, для этого сузить по возможности живые сечения больших рек; где нужно, спрямить их; устроить на них запасные водохранилища; уменьшить их весенние разливы; принять меры к прекращению доступа в реки наносов; уничтожить перекаты; русла небольших рек перегородить капитальными плотинами.

⁴¹ В. В. Докучаев. Наши степи прежде и теперь. СПб., 1892, стр. 37.

⁴² Там же, стр. 38.

⁴³ Там же, стр. 40.

⁴⁴ Там же, стр. 103.

Для регулирования водного режима на водораздельных пространствах планом Докучаева предлагалось осуществить следующие меры: устроить в естественных ложбинах водораздельных пространств обсаженные деревьями пруды; насадить ряды снегозадерживающих «живых изгородей»; закрепить сплошными лесопосадками пески и другие неудобные под пашню земли; использовать для орошения грунтовые воды. Предлагалось также произвести работы по прекращению дальнейшего размыва оврагов и балок и устройству в некоторых из них водохранилищ.

До осуществления всех намеченных мероприятий, подчеркивал Докучаев, должны быть обязательно произведены подробные исследования местных условий, которые только и могут позволить выработать целесообразный план работ.

При обсуждении записки В. В. Докучаева в ноябре 1892 г. в Русском техническом обществе известный гидротехник Ф. Г. Зброжек отметил, как достоинство плана Докучаева, полноту предлагаемых им мер, но вместе с тем указал и на ошибочность некоторых предложений. Так, например, нельзя, говорит Зброжек, добиться упорядочения рек только путем сужения их сечений и спрямления русел; вовсе нельзя уничтожить перекаты. План В. В. Докучаева и определил содержание работ возглавляемой им Особой экспедиции лесного департамента.

Для проведения предварительных исследований экспедиция организовала три опытных степных участка, площадью около 5 тыс. десятин каждый. Первый участок — Хреновский — находился на водоразделе между Волгой и Доном, в Бобровском уезде Воронежской губ.; второй — Старобельский — на водоразделе между Доном и Донцом, в Старобельском районе Харьковской губ.; третий — Великоанадольский — в Мариупольском уезде Екатеринославской губ.⁴⁵ Все эти участки располагались на водоразделах, вдали от больших рек, в маловодных местностях, часто страдавших от засух. Каждый участок своими хотя и небогатыми водами представлял характерное для данного водораздела разнообразие источников поверхностных и грунтовых вод. На исследование вод экспедиция в первый же год своей деятельности обратила особое внимание. С весны 1893 г. были организованы гидрометрические определения количества стекающей по оврагам и балкам воды. Измерения производились по специальной «Инструкции для наблюдения над прохождением весенних вод» и имели целью: «1. Определение максимума

⁴⁵ Н. Сибирцев. Особая экспедиция лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России. Предварительный отчет о деятельности экспедиции с июля по ноябрь 1892 г. и общий проект опытных работ ее. СПб., 1893.

расхода воды в исследуемом потоке. 2. Определение всего количества весенней воды, прошедшей через исследуемое сечение. 3. Определение времени и продолжительности прохода весенних вод»⁴⁶.

Этими измерениями преследовалась также важная задача определения «коэффициента свободного стока» как отношения объема воды, проходящей через копечный для данного бассейна створ, к объему выпавших в течение зимних месяцев осадков. В гидрологические исследования экспедиции входили также наблюдения над убылью воды в прудах от испарения и просачивания и над колебаниями уровня грунтовых вод. По поводу проведенных экспедицией гидрологических наблюдений и исследований руководитель гидротехнических работ экспедиции профессор В. И. Дейч, отмечая молодость гидрологии и неразработанность ее методов исследования, писал, что они «бедны результатами; накопившийся сырой материал не может быть обработан с тою полнотью, как это сделано, например, с метеорологическими элементами»⁴⁷. Тем не менее, экспедиция внесла в развитие гидрологии значительный вклад. И, конечно, самым ценным в деятельности экспедиции было практическое осуществление предложенного В. В. Докучаевым метода исследования гидрологических элементов и других условий жизни степи на специальных опытных участках, метода, получившего широкое развитие в гидрологических исследованиях в советское время.

На основании пятилетних исследований Особая экспедиция лесного департамента разработала общий проект мероприятий по упорядочению водного хозяйства в степях России.

Исследования судоходных рек, проведенные Навигационно-описной комиссией, вовсе не коснулись водораздельных пространств, на которых реки берут начало.

Вопрос об истоках рек, об условиях их питания оставался неисследованным. Между тем, все настойчивей раздавались голоса об оскудении естественных водных запасов страны, об обмелении рек, главным образом вследствие уничтожения лесов в их верховьях и на притоках и распашки луговых угодий.

Для выяснения широкого круга вопросов питания рек и была создана в апреле 1894 г. при лесном департаменте Министерства земледелия и государственных имуществ Экспеди-

⁴⁶ В. Дейч. Гидротехнические работы 1893 года. «Труды Экспедиции, снаряженной лесным департаментом под руководством профессора Докучаева. Отчет Министерству земледелия и государственных имуществ. Отдел практических работ», т. II. Гидротехнические сооружения, вып. 1. СПб., 1894, стр. 71.

⁴⁷ В. Дейч. Указ. соч., вып. 2, 1898, стр. 123.

ция для исследования источников главнейших рек Европейской России.

В снаряжении экспедиции участвовало и Министерство путей сообщения, выделившее 10 тыс. из 25 тыс. руб., ассигнованных на первый год работы экспедиции, и несколько своих специалистов.

Общее руководство экспедицией было поручено А. А. Тилло⁴⁸, председателю отделения математической географии Русского географического общества. Отделы экспедиции возглавили: лесоводственный — М. К. Турский, гидрогеологический — С. Н. Никитин и гидротехнический — Ф. Г. Зброжек. Геодезической частью руководил А. А. Фок, метеорологической — начальник экспедиции А. А. Тилло. Среди других специалистов к участию в экспедиции были привлечены В. Р. Вильямс (по агрономической части) и Д. Н. Анучин (для исследования озер). Общее число постоянных участников экспедиции составляло 21 чел., но доходило и до 41 чел.

Районом деятельности экспедиции была водораздельная полоса, на которой находятся истоки Днепра, Угры, Десны, Жиздры, Оки, Дона, Воронежа, Сейма, Цны, Мокши, Суры, Хопра, Медведицы и Битюга.

Задача исследовательских работ экспедиции в общих чертах заключалась «в собрании разносторонних сведений о настоящем положении возможно большего числа типов истоков и условий питания среднерусских рек, об имеющихся около них лесонасаждениях, о рельефе местности, о геологическом ее строении, о почвах, о водоносных горизонтах, о стоящих в связи с реками озерах и болотах и пр.»⁴⁹

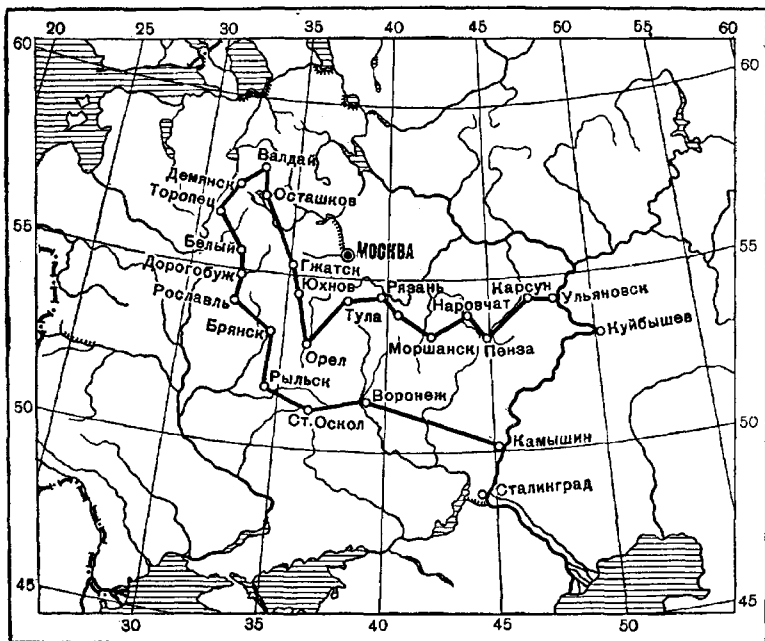
При этом экспедиция должна была, как указывается в журнале совещания об ее организации, поставить своей главной целью выработку «и притом в возможно скором времени таких практических мер, которые должны вести к упорядочению истоков наших рек»⁵⁰.

После того, как в 1894—1895 гг. были произведены рекогносцировочные обследования, экспедиция приступила в 1896 г. к систематическому изучению и описанию следующих восьми бассейнов, общая площадь которых составляет более 1 $\frac{1}{2}$ млн. десятин: 1) бассейнов истоков Волги до впадения в нее Селижаровки и всего бассейна последней; 2) бассейна истоков Днепра до впадения в него Вязьмы; 3) бассейна верховьев Оки до

⁴⁸ После смерти А. А. Тилло (в 1899 г.) руководство экспедицией перешло к Ф. Г. Зброжеку.

⁴⁹ Об охране водных богатств. Главные результаты четырехлетних трудов Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1898, стр. 7.

⁵⁰ ЦГИАЛ, ф. 426, оп. 1, д. 119, л. 1.



Район работ Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России

Орла; 4) бассейна верховьев р. Красной Мечи до впадения в нее р. Гоголя; 5) бассейна рек Дона и Непрядвы до их слияния; 6) бассейна верховьев Сызрана до слияния его с р. Канадей; 7) бассейна рек Сейма и Семицы до их слияния; 8) бассейна верховьев рек Западной Двины, Межи и Обши.

Работы проводились в соответствии с подробно разработанными инструкциями для каждого рода исследований. По изучению рек в общих указаниях для всех отделов предусматривалось: «На всех речках и ручьях определяется точное положение их истоков в день наблюдения и в разное время года по распросным сведениям. При каждом удобном случае определяется ширина, глубина реки и расход воды»⁵¹. В инструкции для гидротехнического отдела даны детальные указания по гидрометрической части.

Результаты исследований экспедиции освещены в ее изданиях, вышедших в 1895—1908 гг. 63 выпусками, посвященными тому или иному бассейну или отдельным проблемам. В трудах

⁵¹ Инструкции и программы Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1895, стр. 7.

экспедиции изложен собранный ею ценный фактический материал, освещены действительное состояние источников исследованных рек и условия их питания, высказаны соображения о мерах, необходимых для поддержания водоносности рек. В исследованиях лесоводственного отдела освещаются, в частности, такие вопросы: насколько благоприятны существующие леса для сохранения или увеличения воды в реках; какое количество лесов следует сохранить или развести вновь на пользу водного хозяйства. Используя картографические материалы, отдел произвел сравнение лесистости обследованных верховьев рек за три момента: за 100 и за 30—50 лет до начала работы экспедиции и в момент исследований. При описании лесов обращалось внимание на расположенные среди них болота.

Гидрогеологический отдел изучил состояние и движение подпочвенных и грунтовых вод в зависимости от геологического строения местности, водные свойства почв (водопроницаемость и влагоемкость), историю водоносности данного бассейна и причины ее изменения.

Гидротехнический отдел в своих трудах осветил те естественные и искусственно созданные условия в бассейнах верховьев рек, которые влияют на водный режим рек; произвел измерения количеств проточной воды и в отдельных случаях сопоставил их с выпадающими осадками; разработал проекты различных технических мероприятий по регулированию стока. Гидротехническим отделом организовывались временные, на период работы на той или иной реке, метеорологические и гидрометрические станции и водомерные посты, а также пункты для наблюдения за снежным покровом. Так, в бассейне Оки в 1895—1897 гг. работали одна гидрометрическая станция первого разряда в г. Орле, шесть станций второго разряда на притоках Оки, 20 речных постов при мельницах на Оке и ее притоках⁵².

Наиболее важными источниками питания рек верховьев Волги экспедиция признала болота, которые, как и озера и леса, предложила сохранять. Однако относительно лесов тут же указано, что площадь их в верховьях Волги уменьшилась очень значительно и что «в интересах земледелия на некоторых водосборах может быть допущено уменьшение лесной площади и, по всей вероятности, без ущерба для водного хозяйства»⁵³. По поводу общего состояния водного хозяйства верховьев Волги экспедиция пришла к заключению, что оно «вообще может считаться правильным и что периодические маловодья в р. Волге

⁵² А. Гельфер. Методы обработки наблюдений, добытых систематическими исследованиями на гидрометрических станциях 1-го и 2-го разряда и на речных постах при мельницах в бассейне верховьев реки Оки и ее притоков. СПб., 1903.

⁵³ Об охране водных богатств. СПб., 1898, стр. 19.



Исток Волги у дер. Волгино Верховье (из-под часовни)

никоим образом не могут быть приписываемы оскудению источников в се верховьях»⁵⁴. Относительно водоносности верхневолжского бассейна С. Н. Никитин утверждает, что нет никаких данных, которые говорили бы «за вероятность сколько-нибудь существенного и заметного уменьшения абсолютного годичного расхода воды при соединении Волги с Селижаровкою в течение рассматриваемой современной геологической эпохи»⁵⁵. То же самое он говорит и относительно водности Днепра.

Главными источниками запаса влаги в верховьях Днепра экспедиция также признала болота и лесные пространства. О значении болот в питании Днепра С. Н. Никитин писал: «Не подлежит сомнению, что настойчивое осушение болот в сколько-нибудь значительных размерах здесь при водонепроницаемости преобладающей подпочвы было бы губительно для водоносности Днепровской системы и ничем не могло быть заменено. Мы получили бы страну, в которой все снеговые и дождевые воды быстро и непроизводительно скатывались бы в реки, увеличивая их временные паводки, обезвоживая страну и доводя воды Днепра до ничтожного минимума»⁵⁶. Что касается болот, то, очевидно, мнение экспедиции расходится со взглядами на этот вопрос Миддендорфа, Веселовского и Опшкова, о которых говорилось выше.

⁵⁴ Об охране водных богатств. СПб., 1898, стр. 18.

⁵⁵ С. Н. Никитин. Бассейн Волги. Исследования гидрогеологического отдела 1894—1898 гг. СПб., стр. 219.

⁵⁶ Свод предварительных заключений о практических способах и средствах, которые могут быть рекомендованы для сохранения правильного питания и водности в изученных типах источников рек. СПб., 1899, стр. 71.

Экспедиция установила значительное уменьшение площади лесов в верховьях Оки, усыхание здесь озер, распространение оврагов и предложила принять меры по облесению в этом районе, так как «всякая новая десятина леса, кроме дохода, который получит от нее владелец, окажет свою долю влияния и на задержание воды в верховьях Оки»⁵⁷.

Из числа созданных участниками экспедиции обобщающих работ, посвященных отдельным вопросам, следует особо отметить составленный А. А. Тилло «Атлас распределения атмосферных осадков на речных бассейнах Европейской России по месяцам и за весь год на основании двадцатилетних наблюдений 1871—1890» (1897), две замечательные монографии Е. А. Гейнца: «Об осадках, количестве снега и об испарении на речных бассейнах Европейской России» (1898) и «Водоносность бассейна верховьев Оки в связи с осадками» (1909), капитальный труд Д. Н. Анучина «Верхневолжские озера и верховья Западной Двины» (1897), ценную работу по гидрометрии А. Гельфера «Методы обработки наблюдений» (1903).

Деятельность экспедиции по метеорологической части была направлена главным образом на всестороннее изучение осадков; начало этому и было положено изданием атласа Тилло. В дополнение к изданному в 1888 г. труду Г. И. Вильда «Об осадках в Российской империи», в котором имеются данные об осадках по 1882 г., в атласе содержится обработка наблюдений за осадками в последующие восемь лет. Но, кроме того, в нем даны не сезонные, как у Вильда, а помесечные сведения об осадках.

До работы экспедиции почти не имелось никаких данных о снеговых осадках, хотя они играют исключительно большую роль в формировании половодий и в грунтовой питании рек. Наблюдения за ними были включены в программу Главной физической обсерватории лишь с 1890 г. Столь же большое значение для режима рек имеют ливни, но и по ним не было собранных воедино и обобщенных данных. Сеть дождемерных станций была учреждена Главной физической обсерваторией в 1884 г., а систематические наблюдения начались лишь с 1886 г. К 1890 г. насчитывалось 552 дождемерные станции. Наблюдения за первое пятилетие обработал Э. Берг (см. его статью «Повторяемость и географическое распределение ливней в Европейской России». «Записки Академии наук», 1892, т. XVIII, приложение № 2).

Наконец, совершенно неизученным оставался важнейший элемент водного баланса — испарение с речных бассейнов.

Все эти три вопроса с возможной полнотой разобраны в работе Е. А. Гейнца «Об осадках, количестве снега и об испарении на разных бассейнах Европейской России». Гейнец показал,

⁵⁷ Об охране водных богатств, стр. 40.

что на всех бассейнах Европейской России минимум осадков выпадает в январе-феврале, а максимум — в июне-августе. Подчеркивая большое значение снега в питании рек, хотя его количество составляет в среднем лишь $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}$ общего количества осадков, Гейнц высказывает предположение, что коэффициент стока в бассейнах Европейской России, вероятно, очень близок к отношению количества снега к общему годовому количеству осадков. О годовом ходе испарения Гейнц говорит, что он в общих чертах сходен с годовым ходом температуры.

В рассматриваемой работе Гейнц, следуя положению, сформулированному А. И. Воейковым (см. ниже), говорит, что «реки являются результатом большего или меньшего количества выпадающих осадков»⁵⁸ и что «величина питания рек есть функция разности количества осадков и испарения»⁵⁹.

В работе «Водоносность бассейна верховьев Оки в связи с осадками» Е. А. Гейнц, используя данные за 1884—1899 гг., вновь кратко останавливается на распределении осадков в верховьях Оки. Среднегодовое количество осадков здесь оказывается равным 534,2 мм в год, причем около $\frac{1}{4}$ всего годового количества составляет снег, а более $\frac{1}{2}$ остального количества — дождевые осадки, выпадающие в летние месяцы. Особо Гейнц останавливается на снеговых осадках и ливнях, имеющих огромное значение для практики, особенно для гидротехники. В главе III рассматривается связь расходов воды и осадков. Автор впервые устанавливает, что коэффициент стока для верховьев Оки в среднем равен 0,205, изменяясь для разных лет в пределах от 0,12 до 0,30. При этом, отмечает Е. А. Гейнц, почти все годы с большими годовыми коэффициентами отличаются большим количеством снега и большими весенними половодьями. Гейнц подтверждает высказанное в работе «Об осадках» предположение, что коэффициент стока для каждого года примерно равен отношению количества снега к общему количеству осадков.

Рассматривая более подробно генезис питания верховьев Оки в 1896—1897 гг., Е. А. Гейнц устанавливает, что в эти годы сток составил 30% годового количества осадков, причем 4% пришлось на подземный ключевой сток и 26% на поверхностный сток. В рассматриваемой работе сделан важный шаг по пути решения вопроса о питании рек, о связи режима рек с осадками.

До работ экспедиции для исследования источников главных рек Европейской России озерные исследования в России касались почти исключительно крупных озер — Каспийского и

⁵⁸ Е. А. Гейнц. Об осадках, количестве снега и об испарении на разных бассейнах Европейской России. СПб., 1898, стр. 2.

⁵⁹ Там же, стр. 43.

Аральского морей, Ладожского озера, Ильмена, Онежского озера, Байкала. Из менее значительных озер изучались лишь те, которые имеют промышленное значение, как, например, солевые прикаспийские озера. Что же касается большой группы сравнительно небольших озер, расположенных в области верховьев Волги и Западной Двины, на Валдайской возвышенности, то начало их изучения было положено участником экспедиции А. А. Тилло, Д. Н. Анучиным. В его труде «Верхневолжские озера и верховья Западной Двины» (1897) изложены результаты исследований, проведенных в 1894—1895 гг.

Исследования Д. Н. Анучина имели в виду прежде всего выяснение водности озер, поэтому главное внимание было уделено измерению глубин. На наиболее крупном озере района исследований, Селигере (площадь 259,7 км²), было произведено 7704 промера глубин на 191 профиле. Измерение глубин позволило составить батиметрические карты озер. Кроме промерных работ, производились наблюдения над прозрачностью и цветом воды и над температурой воды на различных глубинах.

Исследования Д. Н. Анучина явились образцом комплексного изучения озер и дали толчок к новому оживлению озерных исследований в России в конце XIX — начале XX в.

Так, в 1904 г. гидрологию Каспия изучала экспедиция департамента земледелия под руководством Н. М. Книповича. В 1913—1915 гг. на Каспии вновь работала экспедиция во главе с Книповичем, добывшая богатые гидрологические материалы.

Из числа исследований озер, проводившихся другими учреждениями и организациями, укажем на следующие.

В 1900—1902 гг. широкие, в том числе и гидрологические, исследования на Арале были проведены по поручению Туркестанского отдела Географического общества Л. С. Бергом. Результаты их изложены в вышедшем в 1908 г. выдающемся труде Л. С. Берга «Аральское море». Экспедицией под руководством Л. С. Берга в 1903 г. изучались берега и гидрология оз. Балхаш.

В 1891 г. В. В. Нагаевым впервые были произведены промеры глубин, а в 1897 г. А. Дьячковым получены некоторые другие сведения по гидрологии Иссык-Куля. Первое обстоятельное описание озера дано Л. С. Бергом в 1904 г.⁶⁰ Экспедицией 1896—1903 гг., организованной гидрографическим управлением Морского министерства под руководством Ф. К. Дриженко, был доставлен основной картографический материал по Байкалу и произведены детальные измерения глубин всего озера. Тогда же было начато обстоятельное исследование климата, термики, ледяного покрова Байкала.

⁶⁰ Л. С. Берг. Озеро Иссык-Куль. «Землеведение», 1904, т. XI, кн. I—II.

Изучению Ладожского озера в гидрологическом отношении значительно способствовали экспедиции Географического общества, проводившиеся в 1897, 1899, 1901, 1903 гг. под руководством Ю. М. Шокальского.

В 1897 г. С. А. Советовым по поручению Географического общества были измерены на различных глубинах температуры воды Онежского озера, чем было положено начало систематического изучения его гидрологического режима.

Многолетний опыт изучения озер позволил Географическому обществу выработать и в 1908 г. издать подробную «Инструкцию для исследования озер».

Но возвратимся к работам экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. Наряду с получением ценных фактических данных, позволивших в ряде случаев сделать важные научные обобщения и выводы, каждым отделом экспедиции по всем исследованным бассейнам были указаны определенные меры по поддержанию водоносности. Предложения отделов собраны в «Своде предварительных заключений о практических способах и средствах, которые могут быть рекомендованы для сохранения правильного питания и водности в изученных типах источников рек», изданном в 1899 г. и представляющем собой извлечения из трудов и предварительных отчетов экспедиции. Не перечисляя предлагавшихся мероприятий, укажем на то, что экспедиция высказывалась за сохранение болот и за лесоразведение, признавая за болотами и лесами роль хранителей и регуляторов влаги. Относительно лесов указывалось, что «огромное испарение древесной листвой с избытком вознаграждается... благодетельными свойствами леса»⁶¹.

Кроме мер по каждому бассейну в отдельности, экспедиция уже на основании исследований 1894—1895 гг. считала необходимым предложить мероприятия общего характера, изложенные в докладной записке А. Тилло, С. Никитина, М. Турского и Ф. Зброжека «О систематических гидрологических исследованиях отдельных бассейнов и о мерах к охране и упорядочению истоков русских рек». Авторы этой записки настоятельно предлагали прежде всего осуществить две следующие меры. Во-первых, «выработать и установить в законодательном порядке условия частного пользования водами вообще, а истоками и несудоходными частями рек по преимуществу в таком виде, чтобы интересы отдельных частных лиц не осуществлялись в ущерб интересам других лиц и общим интересам государства». Указывая на недостаток водного законодательства Рос-

⁶¹ А. А. Фок и А. А. Рябов. Подробный отчет о практических результатах экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1908, стр. 16.

сии, касавшегося только судоходных и сплавных рек, и обосновывая необходимость предлагаемой меры, А. А. Тилло и другие участники экспедиции писали: «Члены экспедиции путем личного опыта (подчеркнуто в записке.— И. Ф.) имели возможность убедиться, что при существующем порядке вещей даже научные гидрологические исследования не могут быть выполняемы беспрепятственно в намеченных размерах, так как любой землевладелец имеет право удалить исследователя из пределов своих владений и воспретить всякие гидрометрические и другие изыскания на реках... если только данный участок реки не принадлежит к судоходным или сплавным»⁶².

Во-вторых, руководители экспедиции впервые поставили вопрос об организации центрального гидрологического учреждения в виде «(А) учено-практического института и (Б) специального административного органа». В докладной записке подробно излагались задачи проектируемого гидрологического учреждения по исследованию поверхностных и грунтовых вод. Такое учреждение, как мы увидим далее, было создано в виде Гидрологического комитета, лишь спустя восемь лет, в 1903 г.

Благодаря плодотворным научным результатам и широкой постановке задач по охране водоносности и гидрологическому изучению страны Экспедиция по исследованию источников главнейших рек Европейской России внесла большой вклад в развитие гидрологии суши.

В настоящей главе мы назвали много ценных работ, посвященных отдельным рекам и бассейнам или частным вопросам гидрологии. Однако уже в середине и к концу рассматриваемого периода создаются работы, заключающие в себе широкие гидрологические обобщения. На этих крупных трудах, заложивших теоретический фундамент гидрологии, мы и остановимся в следующих двух разделах.

3. Основополагающее значение трудов А. И. Воейкова в развитии гидрологии суши

Программа изучения, охраны и использования вод.— Выдающийся труд А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России».— Реки — продукт климата.— Классификация рек земного шара.— Классификация озер.— Расчет водного баланса Каспийского моря.— Гидрологическая и климатическая роль снега.

А. И. Воейков (1842—1916), выдающийся русский географ и климатолог, на протяжении всей своей кипучей и плодотворной научной деятельности проявлял исключительный интерес к изучению всех стадий круговорота влаги. Он первым оценил

⁶² ЦГИАЛ, ф. 426, оп. 1, д. 119.

огромную роль этого круговорота в формировании климата, а также постоянно подчеркивал необходимость активного вмешательства человека в естественный ход влагооборота с целью изменения его в свою пользу. Он писал: «Человек должен стремиться к тому, чтобы вода, испаряясь, делала работу, полезную для него, т. е. испарялась с поверхности растений. Точно так же нужно стараться о том, чтобы речная вода, по пути от верховьев к устьям исполняла работу для человека... Овладеть водой и пользоваться ею для своих потребностей — одна из главных задач человека в экономической области»⁶³. Задача изучения режима рек, их улучшения и разумного использования всегда привлекала внимание А. И. Воейкова.

В докладе «Реки России», прочтенном в сентябре 1882 г. в отделении физических наук Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, Воейков с горечью говорит о том, «как мало мы еще умеем пользоваться водой, этим необходимым элементом жизни, и страдаем то от ее избытка, то от ее недостатка»⁶⁴.

В своей обширной программе изучения, охраны и хозяйственного использования речных вод А. И. Воейков указывал на необходимость ускорения работ Навигационно-описной комиссии, продолжения наблюдений за уровнями рек, определения расходов воды в них, изучения снежного покрова, организации прогнозов уровней, лесоразведения, устройства запруд, развития орошения. Он подчеркивал важность задачи подготовки кадров инженеров и техников по водному делу.

Уже в этом докладе А. И. Воейков намечает те теоретические положения гидрологии рек, которые потом обстоятельно развивает в своем труде «Климаты земного шара, в особенности России».

Высказывая положение, что «реки, как известно, — результат осадков», он рассматривает влияние почвы и растительного покрова на сток осадков в реки. Подробный разбор вопроса о роли леса в гидрологическом режиме рек приводит А. И. Воейков к заключению, что по крайней мере в черноземной и степной полосах России уменьшение площади лесов, а также распашка лугов и степей ведут к уменьшению воды в реках, особенно летом.

А. И. Воейков подчеркивает огромное значение снега в питании русских рек. Снег уже давно привлекал внимание Воейкова как важнейший климатический фактор. Еще в 1871 г. статьей «Влияние снеговой поверхности на климат» он обратил

⁶³ А. И. Воейков. Человек и вода: способы пользования водою и их географическое распределение. 1909. В сб.: «Воздействие человека на природу». М., 1949, стр. 149.

⁶⁴ А. И. Воейков. Реки России. 1882, стр. 1.

внимание на необходимость его изучения. И затем снова обращался к этой теме (в «Климатах земного шара», в специальной статье 1885 г. «Снежный покров, его влияние на климат и погоду и способы исследований», вновь изданной с дополнениями в 1889 г.). А. И. Воейков по праву заслужил имя «отца учения о снеге».

В «Реках России» А. И. Воейков, рассматривая вопрос о влиянии леса на образование снегового покрова и на снеготаяние, говорит о полезности «иметь часть бассейна реки под лесом». В этом случае, т. е. при наличии как открытых, так и облесенных площадей, «река наполняется не сразу, наводнения менее губельны, а период, удобный для судоходства или плава, удлиняется», так как будет иметь место одновременность стока «лесной» воды из ближних мест и «полевой» воды из дальних мест.

В докладе «Реки России» А. И. Воейков намечает принцип той классификации рек, которую подробно излагает в «Климатах земного шара».

Фундаментальный труд А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России» вышел в свет в 1884 г. В нем А. И. Воейков обобщил имевшиеся к тому времени достижения метеорологии и гидрологии и свой многолетний научный опыт, высказал и развил много глубоких и оригинальных новаторских идей.

Рассматривая важнейшие факторы климата, он, наряду с солнечной радиацией и циркуляцией воздуха, отводит первостепенное значение также атмосферной влаге. А. И. Воейков подробно исследует все стадии влагооборота, отводя отдельные главы влажности воздуха, испарению, облачности, водным осадкам, рекам и озерам.

В главе о водных осадках Воейков говорит, что он смотрит на них, как «на противоположность испарения в круговороте воды на земном шаре». Соотношение между этими противоположными процессами столь существенно, что именно оно определяет собой густоту речной сети и режим рек и озер. Это краеугольное положение гидрологии А. И. Воейков формулирует 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. В странах, мало исследованных, где нет дождемерных наблюдений или их число недостаточно, реки дают указание на обилие осадков, а изменение их уровня — на время, когда осадки обильнее, и обратно»⁶⁵.

⁶⁵ А. И. Воейков, Избранные сочинения, т. I. М.—Л., 1948, стр. 243.

Нельзя сказать, что взгляд на речной сток как на результирующую величину осадков и испарения в бассейне можно найти в то время лишь у одного Воейкова. Нет, его высказывали и некоторые другие авторы, но этот взгляд еще не был общепринятым, он еще только приобретал признание. Гидрограф Н. М. Филиппов в своей статье «Об изменении уровня Каспийского моря», опубликованной в 1890 г., писал: «Вопрос о реках принадлежит к числу специально научных исследований. Прибыль и убыль воды в реках и их руслах зависит от многих причин, до сих пор не вполне исследованных»⁶⁶. Только у Воейкова взгляд на реки, как на продукт климата, и на сток, как на результат осадков и испарения, находит вполне отчетливое выражение и развитие, в частности, в его классификации рек.

Исходя из положения о реках как продукте климата, Воейков указывает на осреднение большими реками в их низовьях климатических условий всего бассейна. Рассмотрев некоторые гидравлические и гидрологические вопросы, связанные с речными потоками (в частности, о русловом добегании, о влиянии на сток водопроницаемости почвы и испарения, об умеряющем действии озер на уровни протекающих через них рек, впервые вводя для этих рек название «озерные»), А. И. Воейков дает классификацию рек в зависимости от условий их водного питания, или, как он говорит, устанавливает «несколько главных типов в зависимости от климата». По этой классификации все реки земного шара делятся на следующие климатические типы:

Тип А. Реки, получающие воду от таяния снега на равнинах и на невысоких горах, до 1000 м. В чистом виде этот тип не существует нигде. Наибольшее приближение к нему — в северной части Сибири и Северо-Американского материка, где снежный покров держится месяцев 8—10.

Тип В. Реки, получающие воду от таяния снега в горах. Тоже не существует в совершенно чистом виде, но есть большее приближение к нему, чем к типу А. Всего яснее он выступает в западных частях горных массивов, занимающих середину Азии. Аму-Дарья, Сыр-Дарья, Тарим, верхний Инд, реки этого типа, несомненно, получают большую часть воды от таяния снегов в горах.

Тип С. Реки, получающие воду от дождей и имеющие половодье в летнее время. Это тип рек, соответствующий тропическим дождям и дождям муссонов.

Тип D. Реки с половодьем вследствие таяния снега весной или в начале лета, причем, однако, значительную часть воды реки получают от дождей. К этому типу принадлежат Северная

⁶⁶ Н. М. Филиппов. Об изменении уровня Каспийского моря. СПб., 1890.

КЛИМАТЫ ЗЕМНАГО ШАРА

ВЪ ОСОБЕННОСТИ РОССІИ.

СЪ ПРИЛОЖЕНІЕМЪ

14-ти графическихкихъ таблицъ и 10-ти картъ

А. И. Воейкова.

докторъ Физико-математическихъ наукъ Императорскаго Московскаго университета, докторъ философіи, профессоръ географіи, статистики, этнографіи, физической географіи въ Императорскомъ С.-Петербургскомъ университетѣ, профессоръ метеорологической физики Императорскаго Русскаго географическаго Общества, почетный членъ Лондонскаго Royal Meteorological Society, действительный членъ Общества Императорскаго Русскаго географическаго Общества физико-математическаго, С.-Петербургскаго естественнаго историческаго, Императорскаго Московскаго комитета по устройству и поддержанію естественнаго историческаго и географическаго музеевъ, членъ Императорскаго Биржеваго Собранія, членъ Общества любителей наукъ и искусствъ Императорскаго С.-Петербургскаго университета.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ

ИЗДАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКАГО ЗАВЕДЕНІЯ А. ИЛЬИНА.

(на узлу Елзмирской проты и Б. Матерской, 3. № 111.)

1884.

Титульный листъ перваго изданія книги А. И. Воейкова
«Климаты земнаго шара, въ особенности Россіи»

и Западная Сибирь, вся Европейская Россия, Скандинавия, Восточная Германия, северная часть Соединенных Штатов и часть североамериканского материка к северу от них.

Тип Е. Реки, получающие воду от дождей; она выше в холодные месяцы года, но правильное периодическое изменение невелико. Этот тип преобладает в Средней и Западной Европе.

Тип G. Отсутствие рек и вообще постоянных водотоков вследствие сухости климата. Это относится к Сахаре, большей части Аравии, части Арало-Каспийской низменности, большей части центральных плоскогорий Азии, обширным плоскогорьям Северной Америки, части территории Южной Америки, к большей части внутренней Австралии.

Тип H. Страны, где дождливое время коротко и реки имеют воду лишь тогда и несколько времени после, а в остальное время пересыхают или превращаются в ряд луж с подземным течением в промежутке между ними. Этот тип относится, например, к северной степной части Крыма, части киргизских степей, к степям по нижнему течению Куры и Аракса, части Монголии, ко многим местностям Северной Америки и Австралии.

Тип J. Обширный разряд стран без рек вследствие сплошного покрытия снегом и ледниками. Здесь реки заменяются ледниками с их подледными водотоками, выносящими избыток осадков над испарением к морю или в более низкие долины.

Принцип классификации рек по источнику и характеру питания после Воейкова использовали и другие авторы.

Говоря об озерах, Воейков показал, что их история характеризует собой определенные тенденции в изменениях климата. Он делит озера на проточные (обычно пресные) и непроточные (обычно соленые). Проточные озера, говорит Воейков, указывают на влажный климат, а непроточные на сухой. Если климат становится суше, т. е. количество осадков и стока уменьшается, а испарение увеличивается, то происходит уменьшение проточного озера, превращение его в непроточное, уменьшение его размера, превращение в несколько отдельных котловин, заполняемых водой в течение части года, наконец полное высыхание озера. При увлажнении климата процесс происходит в обратном направлении.

А. И. Воейков делает приблизительный подсчет стока рек земного шара, но сильно преуменьшает его.

Отдельная глава труда А. И. Воейкова посвящена рекам и озерам России. Реки России, говорит он, большей частью принадлежат к типу D, т. е. к рекам с весенним половодьем от таяния снега и от дождей. По поводу половодий А. И. Воейков пишет: «Мы слишком привыкли к половодью, а это, несомненно, явление величественное по своим размерам, по всей правильности и по влиянию на народную жизнь. Помимо его значения

для судоходства и сплава, мы ему обязаны тем, что Россия из всех стран Европы наименее страдает от наводнений: половодье — явление настолько правильное у нас, что обыкновенно избегают мест, опасных вследствие наводнений, и даже если где селятся в подобных местах, то все-таки легче предвидеть бедствие и принять меры против него, так как оно приурочено к определенному времени года»⁶⁷. Здесь же мы встречаем первую попытку определения коэффициентов стока бассейнов Москвы и Волги.

А. И. Воейкову принадлежит первый научно обоснованный расчет водного баланса Каспийского моря. В расчете Воейкова замечательно то, что он на основании очень скудных данных почти правильно определил величину притока речных вод в Каспий, приняв его равным 388 км^3 в год. В настоящее время он принимается равным примерно 324 км^3 в год. На основании уравнения водного баланса Воейков получает испарение с моря равным 1085 мм в год, что также оказалось близко к истине. «Я думаю, — замечает Воейков, — что, несмотря на неполную точность цифр, послуживших мне для этого вывода, они дают более верное понятие об испарении с поверхности Каспия, чем те, которые можно было получить из наблюдений над испарителем»⁶⁸. Интересно отметить, что упоминавшийся выше Н. М. Филиппов в своей статье 1890 г. о многолетних колебаниях уровня Каспийского моря, хотя и говорит о балансе Каспия как разности притока в него речных вод и испарения с его поверхности, но тут же замечает, что «это одно приблизительное соображение». При этом свое единственно правильное объяснение изменений уровня Каспийского моря соотношением между притоком и испарением он называет «смелым предположением».

В «Климатах земного шара» большое внимание уделяется снегу. О большом гидрологическом и климатическом значении снега А. И. Воейков писал: «Нигде влияние снежного покрова так не велико, как в России, так как нигде нет равнины настолько обширной, отдаленной от морей и покрытой снегом зимой. К причинам, побуждающим к изучению пространства, покрытого снегом, и глубины его, нужно еще присоединить две: 1) при таянии снега большое количество тепла затрачивается на эту работу, следовательно, чем более лежит снега, тем медленнее пройдет возвышение температуры весной до того времени, пока весь снег не стаял; 2) затем известно, что половодье наших рек зависит от таяния снега, и опять-таки при прочих

⁶⁷ А. И. Воейков. Избранные сочинения, т. I, стр. 589.

⁶⁸ Там же, стр. 594.

равных условиях можно ожидать тем большей прибыли воды весной, чем более снега накопилось к тому времени»⁶⁹.

Гидрологические идеи, заложенные в замечательном труде А. И. Воейкова, явились прочной научной основой гидрологии. Под их непосредственным влиянием шло у нас и за границей дальнейшее исследование важнейших проблем гидрологии. Выдающееся значение для гидрологии трудов А. И. Воейкова, и прежде всего книги «Климаты земного шара, в особенности России», состоит в том, что в них впервые отчетливо сформулировано одно из основных положений гидрологии, что главными факторами стока являются осадки и испарение, т. е. дано научное представление о водном балансе бассейнов. Важно еще подчеркнуть, что автор этих идей, не мысливший науки вне самого живого общения с практикой, в своей последующей деятельности выступал по очень многим актуальным вопросам водного хозяйства, руководствуясь девизом активного вмешательства человека в природные процессы с целью использования естественных богатств и сил на благо общества.

В этом отношении большой интерес представляет опубликованная в 1894 г. статья А. И. Воейкова «Воздействие человека на природу».

4. Развитие учения о русловых процессах

Развитие знаний о движении воды и речных наносов.— Проблема турбулентности.— Теории формирования русла (Г. Жирардона, Л. Фарга, Н. С. Лелявского).— Вопрос о поперечной циркуляции в водных потоках.— Роль В. М. Лохтина и других русских инженеров в развитии учения о русловых процессах.— Вопрос об асимметрии речных долин. Закон Бэра.

Во многих странах со второй половины, а в России, как уже указывалось, с последней четверти XIX в. получают значительное оживление гидротехнические работы на реках с целью улучшения их как путей сообщения. Именно с этими работами в первую очередь связано развитие знаний о реках и возникновение важнейшего раздела гидрологии — учения о русловых процессах.

Конечно, накопление знаний о свойствах рек происходило, как мы видели, в течение очень длительного времени. Однако вплоть до конца XIX в. имелись лишь разрозненные сведения, но цельного учения о реках не существовало.

Неудивительно поэтому, что выступил австрийского географа А. Пенка в 1898 г. в начавшем тогда издаваться в Дрездене журнале Гравелиуса «Zeitschrift für Gewässerkunde» со статьей «Изучение рек как отрасль физической географии»

⁶⁹ А. И. Воейков. Избранные сочинения, т. I, стр. 269.

приветствовалось как первый опыт формулирования задачи учения о реках. В круг этих задач Пенк включал: 1) физику текучих вод, 2) водоносность рек и ее колебания, 3) влияние воды на ложе реки, 4) распространение рек на поверхности земли, 5) животный и растительный мир рек.

Но мы здесь не будем излагать историю учению о реках в целом, а попытаемся лишь осветить основные этапы развития теории русловых процессов, составляющей, наряду с учением о стоке, один из главных разделов гидрологии суши.

Изучение свободного речного потока осложняется тем, что движущаяся водная масса находится в непрерывном взаимодействии со своим подвижным ложем. Как только поток, действуя на русло, начинает изменять его форму, так вслед за этим начинают изменяться и кинематика самого потока, распределение скоростей в нем, их величина и направление.

Ясно, что углубление в познание закономерностей русловых явлений могло происходить лишь наряду с успехами в изучении механизма движения реальной жидкости, структуры речного потока.

Но в конечном итоге все переформирования, производимые потоком, целиком зависят от интенсивности непрерывно протекающих в реке на протяжении всего ее существования процессов размыва, переноса и отложения твердого вещества. А это значит, что гидрология должна была предварительно накопить необходимые знания о законах взаимодействия жидкости и твердых тел, а также использовать то, что было накоплено гидравликой и гидромеханикой.

Интересным для гидрологии является также вопрос о тех общих закономерностях, которым подчиняется русло, находясь под влиянием сил, действующих на него в течение длительных, вековых периодов, т. е. вопрос о том, как исторически складываются формы русла в плане и в вертикально-продольном разрезе. В более широкой постановке задача эта относится к речной долине в целом. Но выяснение указанных закономерностей относится уже больше к области геоморфологии. Однако нельзя не подчеркнуть той большой помощи, которую оказала гидрология геоморфологии своими успехами в познании русловых процессов, происходящих в короткие отрезки времени и на отдельных участках русла. Существует определенная взаимная заинтересованность гидрологии и геоморфологии в изучении закономерностей, присущих руслу, этому динамичному элементу речной долины.

Мы, таким образом, определили, хотя и в самых общих чертах, тот круг вопросов, успехи в исследовании которых явились основой для создания учения о русловых процессах. Проследим, как складывалось это учение.

Накопление опытных данных о движении воды в реках, каналах и трубах началось еще в древние времена и связано с использованием рек в транспортных целях, с орошением и водоснабжением, а также с борьбой человека против разрушительных разливов (например, в Китае). Еще в самой далекой древности появились некоторые элементы гидравлики — науки о движении жидкости. Однако наиболее ранним научным трудом по гидравлике считается трактат греческого ученого Архимеда (287—212 гг. до н. э.) «О плавающих телах», в котором он сформулировал важнейший закон гидростатики, известный каждому по имени его автора.

Более поздние века, вплоть до XVI, в изучении движения жидкости не оставили ничего, что вошло бы в арсенал науки.

Конечно, и в средние века происходило накопление опытных знаний в области гидравлики. Например, на Руси это связано со строительством водопроводов и водяных мельниц. Но этот народный опыт, передававшийся из поколения в поколение, какого-либо научного обобщения в то время не нашел.

Практические вопросы использования рек постоянно привлекали инженеров и ученых к непосредственному наблюдению гидравлических явлений в руслах, к эксперименту. Мы видели, каких больших успехов в познании закономерностей речного потока достиг еще Леонардо да Винчи, идя по этому пути. Именно благодаря опыту, связанному с практической деятельностью по регулированию рек, итальянские инженеры еще в XVII в. нашли объяснение того факта, что река, принявшая воды другой реки, не увеличивается по ширине пропорционально увеличению расхода воды. Объясняется это тем, что с увеличением расхода воды возрастает скорость течения, и река углубляется⁷⁰.

Для понимания русловых явлений необходимо было выяснить характер распределения скоростей по живому сечению, и прежде всего по глубине потока. Мы уже видели, что еще Леонардо да Винчи знал об уменьшении скорости от поверхности ко дну, однако вплоть до XVIII в. считалось, что распределение скоростей по глубине подчиняется гидростатическому закону, т. е. что скорость возрастает от поверхности ко дну. Такого взгляда придерживались, например, Галилей и Кастелли. Даже в сочинении французского гидротехника Б. Белидора «Гидравлическая архитектура», вышедшем уже в 1737—1751 гг., содержится, хотя и неявно выраженный, пережиток этого ошибочного представления⁷¹.

⁷⁰ Д. Д. Неелов. Устройство плотин. СПб., 1884, стр. 247.

⁷¹ Там же, стр. 210.

По-видимому, первым, кто опроверг этот неправильный взгляд, был французский ученый Э. Мариотт (1620—1684), применивший в конце XVII в. для наблюдения за скоростями изобретенные еще Леонардо да Винчи двойные поплавки. Однако окончательное решение вопрос получил только после того, как А. Пито доказал уменьшение скорости ко дну, произведя измерение скорости изобретенной им в 1730 г. гидрометрической трубкой. В сообщении о своих наблюдениях, опубликованном в 1732 г. в записках Парижской Академии наук, Пито указал также, что скорость у дна составляет больше половины скорости у поверхности. Последующими опытами было установлено, что средняя скорость по вертикали находится примерно на $\frac{3}{5}$ глубины от поверхности. Большие исследования по изучению скоростей течения были проведены немецким инженером Р. Вольтманом, сконструировавшим в 1790 г. гидрометрическую вертушку; он же предложил в качестве модели распределения скоростей по вертикали параболу с горизонтальной осью. Не упоминая многих исследователей распределения скоростей в потоке (число которых за период 1630—1932 гг., как отмечает К. И. Колендзян⁷², превышает 50, причем ими было предложено 14 различных кривых), укажем, что в 1865 г. французский гидравлик А. Базен на основании своих и А. Дарси опытов в лабораторных каналах предложил выражать изменение скорости по вертикали параболой с горизонтальной осью, помещенной на поверхности потока.

Немецкий инженер Р. Ясмунд считал (1893)⁷³, что лучшим выражением распределения скорости на вертикали является логарифмическая кривая. Более удобная для пользования логарифмика была предложена в 1914 г. инженером С. И. Моисеенко⁷⁴.

Еще в середине XVIII в. некоторые ученые, исходя из факта несжимаемости воды, считали, что скорость течения в открытых руслах зависит не только от величины уклона реки, но и от давления воды в верховьях, особенно если поток находится на большой высоте. Так, известный естествоиспытатель Ж. Бюффон (1707—1788) утверждал, что скорость «гораздо больше зависит от количества и от тяжести верхней воды, нежели от речной покатости»⁷⁵.

⁷² К. И. Колендзян. О распределении скоростей по вертикали. «Записки Государственного гидрологического института», 1933, т. XI.

⁷³ Ф. Форхгеймер. Гидравлика. М., 1935, стр. 193.

⁷⁴ С. И. Моисеенко. Проект водного пути между Камой и Иртышем. Отдел II. Исследования. Часть II. Гидрометрические работы. СПб., 1914.

⁷⁵ Ж. Бюффон. Всеобщая и частная естественная история, ч. II. СПб., 1811, стр. 13.

На том же основании несжимаемости жидкости некоторые ученые, например Пито, считали, что река «испытывает от моря сопротивление, истребляющее половину ее скорости, и движется равномерным движением на трех остальных четвертях ее длины»⁷⁶. Но уже немецкий гидравлик А. Брамс (1754) правильно связывал скорость движения воды с уклоном и поперечным профилем русла. Он же указал на отсутствие ускорения в движении воды, которое, казалось бы, должно было иметь место в соответствии с законами механики твердых тел. Это ускорение в движущейся жидкости поглощается возникающим сопротивлением движению в виде внутреннего и внешнего трения. Эмпирическая формула для средней скорости потока, предложенная А. Шези в 1755 г., устанавливает зависимость средней скорости равномерного потока (v) от местного уклона водной поверхности (i), гидравлического радиуса (R) и степени шероховатости русла (учитываемой коэффициентом C):

$$v = C\sqrt{Ri}$$

и выражает квадратичный закон сопротивления. Л. Г. Дюбуа, автор первого систематического изложения основ гидравлики (1779), указал, что именно поверхностный (а не донный) уклон является определяющим фактором движения в открытом потоке⁷⁷.

Одно из наиболее сложных явлений руслового процесса — передвижение в потоке твердых частиц — привлекало внимание многих ученых и инженеров. Но одним из первых, проводившим обстоятельные исследования речного потока в связи с движением речных наносов, был Л. Г. Дюбуа. Ему принадлежит определение количественных выражений величины максимальной неразмывающей скорости для различных грунтов, а также минимальной скорости, при которой начинается движение твердых частиц различной крупности. Он вслед за Э. Мариоттом дал выражение для давления текущей воды на находящуюся в ней твердую частицу в зависимости от средней скорости потока:

$$P = k\gamma F \frac{v^2}{2g},$$

где k — опытный коэффициент, γ — объемный вес воды, F — площадь поперечного сечения частицы, g — ускорение силы тяжести.

⁷⁶ Фабр. Опыт теории быстротоков и рек. СПб., 1805, стр. 5.

⁷⁷ В. М. Маккавеев. Распределение продольных и поперечных скоростей в открытых потоках. «Труды Государственного гидрологического института», 1947, вып. 2 (56).

Впервые теоретическое исследование явления взвешивания твердых частиц более тяжелых, чем вода, произвел А. Дюпюи (1848). Он сделал бесспорный шаг вперед, указав на то, что максимальное количество взвешенных наносов определяется не наибольшей абсолютной скоростью потока, а наибольшей относительной скоростью соседних струй, т. е., что сила взвешивания зависит от производной скорости по глубине $\frac{du}{dz}$, а это уже давало объяснение того факта, что нижние слои более насыщены наносами и содержат частицы большей крупности.

В своем объяснении взвешивания Дюпюи исходил именно из того обстоятельства, что плавающие тела двигаются с большей скоростью по сравнению со скоростью окружающей их жидкости, ввиду чего, на основании принципа наименьшей работы, они должны перемещаться по направлению к струям, имеющим большие скорости ⁷⁸.

Зависимость движения наносов прежде всего от относительной скорости подчеркивал и наш русский ученый И. П. Глушинский (1834—1898). Так, он в своем курсе лекций по водным сообщениям, прочитанном в 1861—1862 г., говорил: «Как осадка наносов, так и размыв дна зависит главным образом от скорости течения, но не надо забывать, что под словом скорость мы подразумеваем как полную скорость, так равно и относительные скорости разных слоев воды и что последние... играют в этом случае даже более важную роль. До сих пор, основываясь на опытах Дюбуа (Dubuat), которому казалось возможным вывести некоторое отношение между полной скоростью и размываемостью дна реки, обращалось мало внимания на эти относительные скорости и поэтому оставались совершенно не объясненными многие явления, часто встречающиеся в реках, например, что часто наносы складываются именно в тех местах, где скорости весьма значительны, и, наоборот, места, имеющие меньшую скорость, подвержены подмывам.

Причину, почему мнение Дюбуа вошло в большую часть трактатов о гидравлике, надо искать в трудности опытов над относительными скоростями течения, которые зависят от внутренних движений, в них проявляющихся» ⁷⁹.

Интересно отметить, что в последнем замечании Глушинского о внутренних движениях явно сквозит мысль о существо-

⁷⁸ Е. Гукер. Взвешивание твердых тел текучей водою. 1896. В сб.: «Вопросы речного быта», СПб., 1907, стр. 472.

⁷⁹ И. П. Глушинский. Водные сообщения (литографир. издание лекций 1861—1862 г., записанных Н. В. Бернацким).

вании нарушений параллельности струй, т. е. о турбулентности потока.

Ценные исследования проблемы движения взвешенных наносов были проведены Гемфрейсом и Абботом во время их многолетних работ по изучению р. Миссисипи.

Новый взгляд на механизм взвешивания, основанный на наблюдениях на р. Луаре, высказал в 1871 г. М. Л. Партю. Согласно этому взгляду, взвешивание наносов происходит вследствие засасывания их водоворотами, имеющими большие разности в давлении на периферии и внутри.

У Дююи, как замечает М. А. Великанов, появление взвешивающей силы связано с тем, что, согласно уравнению Бернулли, нижняя поверхность взвешенной частицы должна испытывать большее давление, чем верхняя, ввиду обратного соотношения скоростей течения⁸⁰. Однако Дююи не знал еще того, что в естественном потоке происходит непрерывная пульсация скоростей, причем скорости каждое мгновение меняются и по величине и по направлению. Это явление, присущее потоку, качественно отличному от параллельноструйного, именно, турбулентному потоку, было выяснено позднее. Впоследствии были предложены теории движения взвешенных наносов, уже связывающие взвешивание с вертикальной составляющей скорости течения.

К числу их относится, в частности, теория английского ученого Р. Кеннеди, давшего в 1895 г. формулу незаиляющей скорости, т. е. скорости, при которой взвешенные наносы не осаждаются. Эта формула имеет вид:

$$u = kh^n,$$

где k — коэффициент, зависящий от гидравлической крупности наносов, а параметр $n = 0,64$.

Новая теория была выдвинута в 1919 г. Н. Е. Жуковским. В своей теории он исходил из предположения, что в потоке имеется система эллиптических вихрей (вихревых шнуров), двигающихся вблизи дна без скольжения, наподобие гусеничного трактора. С вертикальной составляющей скорости вихря он и связал силу взвешивания. Зависимость незаиляющей скорости от глубины им дана в виде прямой:

$$v_{\text{нз.}} = A + Bh,$$

где h — глубина потока, A и B — коэффициенты, зависящие

⁸⁰ М. А. Великанов. Динамика русловых потоков, т. II. М., 1955, стр. 175.

от шероховатости дна и гидравлической крупности наносов⁸¹.

С точки зрения современных представлений о русловом потоке, только что названные теории имеют тот недостаток, что, правильно связывая взвешивание твердых частиц с вертикальной компонентой скорости, они не учитывают явления пульсации скоростей, т. е. непрерывного турбулентного перемешивания. Вместе с тем, говоря о теории Н. Е. Жуковского, нельзя не отметить его интуиции, позволившей ему предсказать наличие в потоке эллиптических вихрей — возмущений второго вида, как называет их В. Н. Гончаров⁸², в то время (1919), когда имелись лишь отрывочные экспериментальные данные о структуре потока.

Переходя к вопросу о донных наносах, укажем прежде всего на то, что внимательными наблюдателями давно была замечена волнистая форма продольного профиля массы наносов, передвигающихся по дну. Леонардо да Винчи, говоря о песчаных волнах, правильно изображал их с пологим наклоном против течения и с крутым скатом в лобовой части; при этом он отмечал, что «волна песка движется значительно медленнее, чем волна воды»⁸³.

Л. Г. Дюбуа (1786), описывая свои исследования, отмечает, что при скорости 0,25—0,30 м/сек на дне опытного лотка, покрытого мелкими песчаными наносами, образовывались перпендикулярные к оси потока песчаные волны. Благодаря перекатыванию частиц по пологим скатам и накоплению в углублениях за гребнями песчаные волны медленно передвигались вниз по течению.

М. Баумгартен (1848) на основании своих многолетних полевых наблюдений дает следующую картину движения донных наносов: при незначительных скоростях происходит прерывисто-катящее движение песчаных частиц; при заметном увеличении скорости начинается прерывистое взвешивание частиц, которое при дальнейшем возрастании скорости течения становится непрерывным.

Обстоятельные опытные исследования образования песчаных волн и передвижения частиц наноса были проведены Д. Ф. Диконом (1894). Он отметил, что в его опытах на лотке перемещение донных песчаных частиц начиналось, когда

⁸¹ Н. Е. Жуковский. О снежных заносах и заилии рек. 1919. Полн. собр. соч., т. III. М.—Л., 1936.

⁸² В. Н. Гончаров. Основы динамики русловых потоков. М.—Л., 1954.

⁸³ Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955, стр. 351.

поверхностная скорость течения достигала 0,40 м/сек. С увеличением скорости до 0,46 м/сек происходило образование песчаных волн. При более высоких скоростях волнистая форма движущейся массы песка нарушалась, а при скорости 0,88 м/сек волны уже вовсе разрушались, наносы переходили во взвешенное состояние. Результаты, полученные Диконом, нашли подтверждение и в более поздних исследованиях (например, в исследованиях В. Н. Гончарова, 1929).

Первая теория движения донных наносов связана с именем французского гидравлика М. П. Дюбуа (1879). Он предположил, что движение донных наносов, происходящее под воздействием влекущей силы, равной $\gamma H i$, имеет слоистый характер, т. е. передается от поверхности вглубь⁸⁴. Исследованиями более позднего времени (Крея, 1911; Шоклича, 1914) было доказано, что предположение о передаче движения от слоя к слою не соответствует действительности и что вообще движение имеет не слоистый, а грядовой характер.

В теории движения донных наносов весьма важным является вопрос о соотношении между начальной скоростью движения твердых частиц и их размером, т. е. о суммарном эффекте действия на частицу лобовой и подъемной силы. Англичанин В. Эри установил (1834)⁸⁵, что веса влекомых по дну частиц пропорциональны шестой степени скоростей. Это значит, что если скорость потока увеличится в два раза, то такая скорость может перекачивать по дну твердые тела в 64 раза более тяжелые.

После краткого освещения истории изучения некоторых вопросов гидравлики речного потока и перемещения твердого вещества в нем, имевших важное значение в формировании учения о русловых процессах, мы также кратко остановимся теперь на проблеме турбулентности, этой фундаментальной проблеме для всей теории русловых процессов.

Турбулентность течения, как известно, означает беспорядочность его. Проблема турбулентности — это проблема возникновения и поведения в потоке вихревых возмущений различного масштаба и связанной с ними пульсации скоростей и давлений. Возникновение проблемы турбулентности относится к середине XIX столетия, когда было обращено внимание на резкое расхождение между теоретическими расчетами и опытными данными при определении сопротивлений, испытываемых телами больших размеров, движущимися в жидкости с

⁸⁴ М. П. Дюбуа. Изучение состояния Роны и влияние течения на песчаное дно, размывающееся на неопределенную глубину. «Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г.». СПб., 1893.

⁸⁵ Ф. Форхгеймер. Указ. соч., стр. 551.

большой скоростью. Для объяснения этого расхождения Д. Г. Стокс высказал (1845) предположение о наличии в потоке вихревых движений, меняющих его характер⁸⁶.

Французский инженер Б. Сен-Венан (1797—1866) писал в 1851 г., что невозможно понять движение воды в руслах, если не предположить, что в потоке образуются вихри, сила которых тем более, чем больше поперечное сечение⁸⁷. Тогда же было замечено одно из важнейших отличительных свойств турбулентного потока — пульсация скоростей, причем Базен нашел, что пульсация тем сильнее, чем больше шероховатость. Он, таким образом, опроверг мнение своих предшественников во главе с Прони, которые ошибочно предполагали, что вследствие прилипания частиц воды к ложу образующаяся на его поверхности водяная оболочка устраняет влияние характера русла на скорость. Несколько позднее выдающийся французский гидравлик Ж. Буссинеск предложил заменить в уравнениях Навье-Стокса коэффициент вязкости коэффициентом турбулентности. Буссинеску же принадлежит и введение самого термина «турбулентное движение»⁸⁸.

Замечательные высказывания, проясняющие вопрос о турбулентности движения, имеются в работе великого русского ученого Д. И. Менделеева «О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании», опубликованной в 1880 г. в Петербурге.

Начало научно-экспериментального исследования различных видов движения было положено в 1883 г. английским физиком О. Рейнольдсом. Его опыты состояли в том, что в жидкость, протекающую по стеклянной трубке, он впускал раствор краски и следил за поведением окрашенных струй. Было установлено, что как только скорость движения жидкости переходила некоторый предел, так траектории окрашенных струй начинали искривляться, а при дальнейшем увеличении скорости завихряться. Режим потока Рейнольдс предложил характеризовать произведением средней скорости на характерный геометрический элемент потока, деленным на величину кинематической вязкости, что и было названо числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{vl}{\nu}.$$

Для открытого русла в качестве геометрической характеристики может быть принята величина гидравлического радиуса

⁸⁶ О. Рейнольдс. Динамическая теория движения несжимаемой жидкости и определение критерия. 1895. Сб. «Вопросы турбулентности». М.—Л., 1936, стр. 185.

⁸⁷ Ф. Форхгеймер. Указ. соч., стр. 204.

⁸⁸ Б. А. Бахметев. Гидравлика открытых русел. М., 1935, стр. 248.

нии глубины потока. Число Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного движения к турбулентному, называется критическим числом Рейнольдса. Значения этого числа позднее были получены из опытов для различных условий движения. Так, для открытых русел критическое число Рейнольдса оказалось равным:

$$Re_{кр.} \frac{vR}{\nu} \approx 580.$$

Рейнольдс же явился автором опубликованной в 1895 г. общей теории движения несжимаемой вязкой жидкости, в которой он, оперируя осредненными гидродинамическими величинами, рассмотрел явление турбулентности с энергетической стороны. Однако вопрос о кинематической схеме потока в теории Рейнольдса оставался по-прежнему неосвещенным.

Важным приближением к построению кинематической картины турбулентного движения явилась высказанная в 1905 г. выдающимся немецким ученым Л. Прандтлем мысль о существовании «пограничного слоя», того тонкого слоя жидкости, где происходит зарождение вихрей, которые, удаляясь, благодаря подъемной силе, от стенок в толщу потока, оказывают сильное влияние на его скоростное поле. Именно на основе идей Прандтля велось в последующем изучение турбулентного движения. Из экспериментальных работ в этой области могут быть отмечены ценные наблюдения над структурой потока в связи с движением в нем наносов, проведенные в 1908—1912 гг. американским ученым Г. Джильтбертом⁸⁹.

Что касается теоретической разработки вопроса, то мы вновь укажем на высказанную в 1919 г. Н. Е. Жуковским гипотезу об эллиптических вихрях. Однако наиболее значительные успехи в исследовании проблемы турбулентности были достигнуты у нас и за границей в 20-х и 30-х годах XX в. И лишь после того, как эти успехи постепенно обогащали теоретическую основу учения о русловых процессах, стали получать удовлетворительное объяснение многие русловые явления.

Но механизм речного потока и некоторые закономерности русловых процессов правильно были поняты, по крайней мере в качественном отношении, еще в конце XIX в., благодаря исследованиям инженеров, работавших непосредственно на реках.

Остановимся на некоторых теориях формирования речного русла, созданных гидротехниками в указанный период.

⁸⁹ В. Н. Гончаров. Движение наносов в равномерном потоке. Л.—М., 1938.

Мы уже говорили, что большой толчок, который получило учение о русловых процессах во второй половине и особенно в последней четверти XIX в., был непосредственно связан с развернувшимися в этот период во многих странах широкими гидротехническими работами по выправлению рек с целью приведения их в судоходное состояние.

Начиная с 1892 г., в России почти ежегодно проводились съезды инженеров-гидротехников (1892 и 1893 гг.) и русских деятелей по водяным путям (с 1894 по 1914 г.), сыгравшие исключительно большую роль в развитии русловой гидрологии. Многие гидрологи и гидротехники были также активными участниками международных судоходных конгрессов, периодически собиравшихся в разных странах.

И не только у нас, но и во Франции, Германии и других странах основоположниками общих теорий русловых процессов явились инженеры-гидротехники, практические деятели водного дела, посвятившие многие годы выправительным работам на реках. Говоря об этих теориях в хронологическом порядке, назовем прежде всего крупнейшего французского гидротехника Л. Фарга. Проведенные им, начиная с 60-х годов прошлого столетия, многолетние натурные наблюдения на р. Гаронне, а затем и лабораторные исследования речного русла позволили ему вывести некоторые важные зависимости, существующие между потоком и руслом. Результаты своих исследований Фарг впервые опубликовал в 1868 г. В 1892 г. он выступил с докладом на V Международном судоходном конгрессе, а в 1908 г. опубликовал монографию «Форма русла рек с подвижным дном». Фарг сформулировал следующие положения, которые приводятся в современных учебниках по гидрологии:

1. Максимальная глубина находится ниже по течению вершины кривой вогнутого берега приблизительно на 0,20 средней длины кривой; наибольший выступ отмели противоположного выпуклого берега находится непосредственно ниже по течению вершины выпукло кривой.

2. Глубина у вогнутого берега тем больше, чем больше кривизна в вершине кривой.

3. В интересах получения большей глубины, как максимальной, так и средней, длина кривой не должна быть ни слишком велика (более 2000 м), ни слишком мала (менее 500 м).

4. При одинаковых длинах кривой средняя глубина русла увеличивается с увеличением внешнего угла касательных к концам кривых.

5. Глубина изменяется правильно при правильном изменении кривизны.

6. Если кривая изменяется непрерывно (т. е. кривизна изменяется последовательно), то уклон дна определяется наложением касательной к кривой кривизны.

Таким образом, в положениях Фарга формулируется связь плесов и перекатов с очертанием русла в плане. Эта связь подтверждается для большинства равнинных рек. Первый закон Фарга достаточно удовлетворительно объяснил явление продольного перемещения русла вниз по течению. Но все же Фарг не вскрыл самого механизма взаимодействия потока и русла.

Фарг, как и другие исследователи того времени, сделал из своих наблюдений определенные практические выводы, на основе которых он предложил оригинальный метод выправления рек, оригинальный, впрочем, лишь в смысле очертания трассы, но по сути относящийся к применявшимся в то время повсюду водостеснительным методам, исходящим из правила: где широко — там мелко, где узко — там глубоко. О работах с применением сужения рек, проведенных во Франции, Э. Реклю⁹⁰ говорил, что они совершенно противоречат законам гидрологии и что инженеры такими работами очень сильно испортили течение Гаронны, Луары и других рек Франции. Укажем, что метод Фарга, примененный Н. С. Лежневским в 80-х годах на р. Припяти, успехом не увенчался.

Значительный вклад в русловую гидрологию внес другой французский инженер — Г. Жирардон. Свою систему взглядов на русловые процессы, изложенную в докладе на VI Международном судоходном конгрессе в Гааге в 1894 г. «Улучшение меженного состояния рек»⁹¹, Жирардон выработал в результате длительных наблюдений, проведенных им на р. Роне.

Сущность своих представлений он выразил в шести положениях, которые носят описательный характер и не дают объяснения динамических свойств речного потока.

Жирардону принадлежит деление перекатов на два типа: хорошие, когда верхняя плесовая лощина плавно переходит в нижнюю лощину, и дурные, когда плесовые лощины заходят одна за другую. Выработанная Жирардоном система выправления уже отступала от принципа водостеснения. Она предусматривала устройство продольной струенаправляющей дамбы лишь вдоль одного вогнутого берега; выпуклый берег предлагалось защищать от размыва донными полузапрудами.

На том же VI Международном судоходном конгрессе с докладом «О речных течениях и формировании речного русла» выступил один из крупнейших деятелей русского речного дела то-

⁹⁰ Э. Реклю. Земля, вып. 5. Реки, СПб., 1895.

⁹¹ Первая глава этого доклада «Общие замечания об условиях движения воды и наносов в реках с подвижным дном» в переводе В. Родевича помещена в сб.: «Вопросы речного быта» (СПб., 1907).

го времени Н. С. Лелявский (1857—1905). Изложенная Лелявским новая теория руслового потока вызвала большой интерес. В своем выступлении Фарг высказал мнение, что теория Лелявского представляет собой революцию в области гидротехники. Высоко оценил ее и Жирандон, подчеркнувший большую точность проведенных Лелявским опытов. Свою теорию Н. С. Лелявский ранее доложил II съезду инженеров-гидротехников, а затем повторил в развернутом виде на X съезде русских деятелей по водным путям в 1904 г. в докладе «Об углублении наших больших рек». Теория, разработанная Н. С. Лелявским, есть результат его многолетней практической деятельности, которую он начинал инженером и окончил начальником Киевского округа путей сообщения (1898—1905).

Лелявский был сторонником физического метода исследования, непосредственного наблюдения и опыта. «Для того, чтобы поставить гидродинамику на степень точной науки,— писал он,— недостаточно еще одних отвлеченных математических исследований вроде тех, кои исполнены гг. Навье, Гельмгольцем и его последователями, Буссинеском и многими другими. Нужно признать, что гидродинамика, подобно физике, есть наука опытная и что она в основу своих выводов должна класть не произвольные допущения, а данные, добытые обобщением результатов непосредственных наблюдений и опытов. Так как движение жидких тел в сопротивляющихся средах происходит по законам, не сходственным с движением тел твердых, то главной задачей лиц, занимающихся приложением гидродинамики к практике, я полагаю, нужно признать изучение обстоятельств движения воды, зависящих от формы речного русла и влияющих на его переформирование, обращая особенное внимание на те особенности движения воды, которыми жидкости отличаются от твердых тел, а именно на внутренние перемещения частиц в этих телах при их передвижениях»⁹².

Лелявский ясно формулирует основное положение современной теории русловых процессов, что не только русло управляет потоком, но и поток управляет руслом. И вот, чтобы глубже понять механизм этого взаимодействия, Лелявский тщательно изучает структуру скоростного поля потока, применяя для этого сначала поплавок, а затем, с 1893 г., изобретенный им «измеритель речных струй», или «подводный флюгер».

Многочисленные измерения направления скоростей не оставляют у Лелявского никакого сомнения в том, что старое представление о параллельности струй в речном потоке было совершенно неправильным и что в реках имеются внутренние тече-

⁹² Н. С. Лелявский. О речных течениях и формировании речного русла. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек». М., 1948, стр. 108.

ния, составляющие с основным направлением движения различные углы. Так, по измерениям на Днепре у Екатеринослава (Днепропетровска) углы сходимости струй в горизонтальной плоскости достигали 89° , а расходимости — 108° , в вертикальной плоскости отклонения струй от горизонта составляли: вверх — 18° , вниз — 26° . Угол между верхними и нижними струями одной и той же вертикали находился в пределах до 10° .

Отвергая на основании этих наблюдений устаревшее представление о параллельности струйности речного потока, Лелявский формулирует «закон внутренних или относительных перемещений в движущейся жидкой массе». Сущность этого закона состоит в том, что «в движущейся массе жидкости проявляются внутренние, относительные перемещения частиц, во-первых, по направлениям, сходящимся к местам обнаружения наибольших скоростей течения или наименьших сопротивлений движению жидкости, и, во-вторых, по направлениям, расходящимся от мест обнаружения сопротивлений движению жидкости, причем в обоих случаях все частицы всегда имеют и разные скорости и разные направления движения»⁹³.

Отвечая на вопрос, какой характер имеют эти течения в зависимости от формы русла и как они взаимодействуют с песчаным ложем, Лелявский говорит: «В руслах рек существуют два течения: одно верховое, сбойное, сходящееся, клинообразное, которое, спускаясь на фарватере до дна, делает в нем продольные, гладкие углубления и по своему действию может быть уподоблено плугу, прорезывающему в дне продольную борозду и отворачивающему на сторону взрываемый грунт; другое течение донное, расходящееся, веерообразное, уклоняющееся постепенно от направления сбойного по фарватеру к почти нормальному направлению к берегам. Действием донного течения грунт, вырытый на фарватере и размытый из вогнутого берега, складывается на пологие отмели и по ним катится перебрасываемый зигзагами в косых направлениях по поверхностям песчаных валиков»⁹⁴. При этом для плесов характерным является сбойное течение, а для перекаатов — расходящееся. К. И. Россинский и И. А. Кузьмин указывают на то, что поверхностное сбойное и донное расходящееся течение Лелявский, по-видимому, не рассматривал как проявление винтообразного движения воды⁹⁵.

Несомненно, взгляды Лелявского на поперечные движения воды в русле на протяжении его жизни значительно менялись.

⁹³ Н. С. Лелявский. Об углублении наших больших рек. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек», стр. 174.

⁹⁴ Н. С. Лелявский. О речных течениях и формулировании речного русла. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек», стр. 119.

⁹⁵ С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель. Гидрологические основы речной гидротехники. М., 1950, стр. 52.

В своем докладе на II съезде инженеров-гидротехников в 1893 г. он дал следующую схему течений на изгибе русла: «...вода, стекающая к фарватеру и к вогнутым берегам, не имея возможности другого выхода, приподнимается несколько кверху и, образуя поперечный уклон от фарватера и вогнутости к выпуклым берегам, дает начало своим давлением на подводные слои к течению их по дну в обратном, косвенном направлении к берегам»⁹⁶.

В докладе «Об углублении наших больших рек» он уже не говорит о круговых поперечных течениях, утверждая, что сходжение струй к глубоким местам на плесовых участках происходит не только у поверхности, но и во всей толще потока⁹⁷. Вообще из работы Н. С. Леляевского «Об углублении наших больших рек» можно видеть, что он поперечные течения на изгибе русла представлял более сложными, чем движение в виде ясно выраженного винта.

Изменение представлений Леляевского о поперечной циркуляции, происшедшее в результате новых обширных исследований естественного потока в течение десятилетнего периода, конечно, заслуживает внимания. Надо ли понимать это так, что он позже отказался от своей прежней схемы, сказать трудно. Однако говорить о Леляевском как об авторе классической схемы поперечной циркуляции на изгибе и не отмечать значительной эволюции его взглядов по этому вопросу было бы неправильно.

В современной гидрологии поперечная циркуляция на изгибе потока объясняется действием центробежной силы и вихревой подъемной силы. Анализ действия центробежной силы на изгибе русла и возникающих здесь поперечных течений и деформаций ложа мы находим еще у М. П. Дюбуа.

В работе «Изучение состояния Роны и влияние течения на песчаное дно, размывающееся на неопределенную глубину» поперечная циркуляция рассматривается как результат действия центробежной силы и торможения потока ложем, т. е. уменьшения скорости от поверхности ко дну.

Согласно Дюбуа, высота подъема воды у выпуклого берега

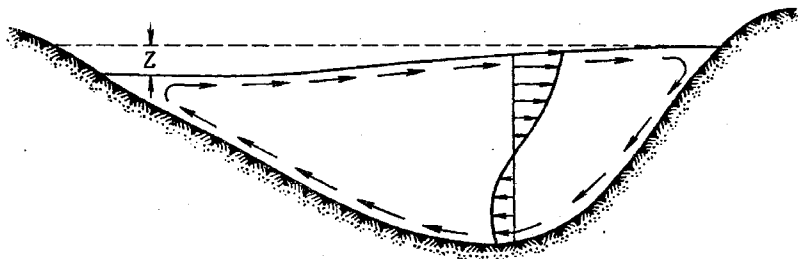
$$z = \frac{\Omega i_0}{g R_0 b},$$

где Ω — площадь живого сечения, i_0 — уклон, g — ускорение силы тяжести, R_0 — радиус кривизны, $b = \frac{1}{C^2}$ (C — коэффициент Шези). Отмечая, что эта формула выведена в предположении, что все струи «одушевлены одною и тою же среднею скоро-

⁹⁶ Н. С. Леляевский. О речных течениях и формировании речного русла. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек», стр. 113.

⁹⁷ Н. С. Леляевский. Об углублении наших больших рек, стр. 175.

стью», он пишет далее: «Но известно, что допущение это несправедливо. Ибо скорости на поверхности всегда больше скоростей при дне... Верхние струи, более быстрые, производя большее давление, должны оттеснить следующий слой воды, приближая его к вогнутому берегу между тем, как нижние струи обладающие меньшей скоростью и производящие давление меньше среднего, должны в свою очередь быть оттеснены струями следующего слоя воды.



Профиль живого сечения и поперечные токи на изгибе русла

Вследствие этого на поверхности получится течение, направленное к вогнутому берегу, на дне же, наоборот, течение, направляющееся к выпуклому берегу, и наносы, влекаемые по дну русла, будут принуждены участвовать в этом последнем движении. Это соображение весьма важно для объяснения углублений, наблюдаемых при вогнутом берегу»⁹⁸.

Таким образом, по Дюбуа, профиль живого сечения и поперечные токи на изгибе русла представляются согласно приводимому рисунку.

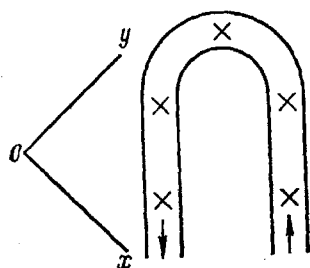
Мы видим, что то объяснение поперечной циркуляции на изгибе, которое дается в современных курсах гидрологии, вполне отчетливо представлено в цитируемой работе М. П. Дюбуа. Следует сказать, что представление о поперечной циркуляции как результате действия центробежной силы ясно выражено также в работе немецкого профессора М. Меллера «Исследование движения воды в реке и связанной с ним выработки речного профиля». При этом о деформациях русла на изгибе Меллер пишет, что «нисходящее движение направляется по вогнутому берегу и, спускаясь по откосам, вымывает камни и песок, который переносит к другому берегу»⁹⁹.

Еще раньше, в 1868 г., теоретически вопрос о движении воды на повороте реки исследовал В. Буссинеск. Его объяснение

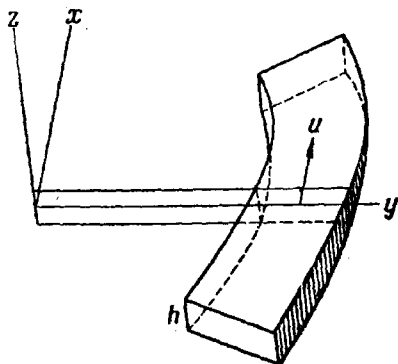
⁹⁸ М. П. Дюбуа. Изучение состояния Роны и влияние течения на песчаное дно, размывающееся на неопределенную глубину. «Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г.». СПб., 1893, стр. 588.

⁹⁹ М. Меллер. Исследование движения воды в реке и связанной с ним выработки речного профиля. «Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г.», стр. 507.

причины поперечной циркуляции кратко сводится к тому, что образующиеся на дне потока вихревые нити, вследствие отсутствия потенциальности вращения жидкости, двигаются по выпуклой стенке быстрее, чем по вогнутой, и что вследствие своего перекашивания горизонтальные вихри сообщают частицам жидкости у дна некоторую скорость по направлению к выпуклому берегу, а частицам вблизи поверхности — скорость по направлению к вогнутому берегу.



Движение поплавка в опыте
А. Я. Миловича



Ориентировка осей в анализе
Н. Е. Жуковского движения жидкости
на изгибе потока

Анализ, данный В. Буссинеском, был развит в 1914 г. Н. Е. Жуковским в его работе «О движении воды на повороте реки». Как раз к тому времени А. Я. Милович опытами, поставленными в 1912 г. в Донском политехническом институте, показал возможность потенциального движения жидкости на изгибе прямоугольного лотка. В его опытах круглый поплавок с нарисованным на нем крестом двигался на повороте без вращения вокруг вертикальной оси, а это значит, что компонента вихря в направлении этой оси была равна нулю:

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0.$$

Но теоретически этот вывод может вытекать лишь из условия распределения продольных скоростей по ширине согласно закону площадей:

$$ru = \text{const.}$$

Именно этот закон и был принят в анализе Буссинеска и Жуковского¹⁰⁰.

¹⁰⁰ В пользу применимости в данном случае закона площадей

За модель распределения скоростей по глубине Н. Е. Жуковский принимает параболу второго порядка:

$$u = \frac{A}{r} \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right)$$

(при ориентировке осей согласно приводимому рисунку).

Предполагая движение установившимся и имеющим только продольную компоненту скорости, он из анализа уравнений такого движения выводит наличие в потоке особой инерционной силы:

$$\rho u \eta = - \frac{2A^2 p z}{r^2 h^2} \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right),$$

направленной вверх по оси z . Эта сила получила название вихревой подъемной силы. Для уравнивания потока необходимо, чтобы эта сила погашалась другой, противоположно направленной.

При отсутствии внешнего воздействия на поток такой силой может быть только сила вязкости, для возникновения которой необходимо, чтобы в потоке происходило вертикальное и сопутствующее ему, согласно закону неразрывности, горизонтальное перемещение жидкости, т. е. была бы совсем иная картина, чем та, которая была предложена в начале анализа.

Таким образом, Н. Е. Жуковский, исходя из предположения, что распределение скоростей по ширине потока следует закону площадей, из уравнений движения получает особую инерционную силу, которую и считает причиной поперечной циркуляции.

Но все же законченной картины течений на изгибе анализ Н. Е. Жуковского не дает. Н. Е. Жуковский считает, что для выяснения этой картины необходимы измерения в натуре. Он пишет: «Я думаю, что вместе с наблюдением скорости по направлению, перпендикулярному к живому сечению, было бы важно определить скорость в живом сечении, потому что тогда имелись бы данные для установления правильной теории изменения фарватера реки, т. е. для решения задачи, столь важной в практическом отношении»¹⁰¹. Заметим, что это пожелание Н. Е. Жуковского как нельзя лучше подчеркивает важность того подхода к изучению течений, который уже за 20 лет до того применял Н. С. Лелявский. Однако гидродинамического объяснения поперечной циркуляции на изгибе Лелявский не дает.

В. Н. Гончаров говорит, что опыт «полностью опровергает предположение о постоянстве угловой скорости и вытекающее из этого следствие о возрастании уровня у внутреннего берега» (В. Н. Гончаров. Основы динамики русловых потоков. М.—Л., 1954, стр. 162).

¹⁰¹ Н. Е. Жуковский. О движении воды на повороте реки. 1914. «Труды ЦАГИ», вып. 95, 1931, стр. 73.

О причине поперечных течений на изгибе он говорит следующее: «Сравнительно быстрое фарватерное течение, втягивающее в себя воду со всего русла, и составляет причину уклонения поверхностного течения к фарватеру или к вогнутому берегу, близ которого оно расположено; причем струи достигают самого вогнутого берега вследствие инерции и отчасти может быть вследствие проявляющейся здесь центробежной силы»¹⁰². При этом Лелявский делает попытку объяснения, почему более быстрое фарватерное течение втягивает в себя воду со всей поверхности потока, иллюстрируя свое объяснение наглядной схемой, но не прибегая к гидродинамическому анализу. Следует сказать, что если в работе 1893 г. Лелявский хотя бы отчасти учитывает влияние на поток центробежной силы, то позднее, объясняя поперечные течения на изгибе, он уже не привлекает центробежную силу. Ему казалось, что если допустить участие в образовании поперечных течений центробежной силы, то необходимо будет признать параллельность течения вогнутому берегу, между тем, отрицание параллелизма струй как раз и было исходным пунктом его теории.

По мнению Н. С. Лелявского, сбойное верховое течение направляется к вогнутому берегу не в результате действия центробежной силы, а вследствие того, что вогнутый берег, постепенно поворачиваясь в сторону русла, встречает фарватерное течение, которое, отклоняясь от берега, перескачет вновь подходящие струи и, вследствие претерпеваемого от них гидродинамического давления, опускается вниз, устремляясь на размыв речного дна.

Такова картина течений на плесах. А что происходит на перекатах? «С того пункта,— говорит Лелявский,— с которого вогнутый берег перестает пересекать приливающие струи верхового течения, начинается ослабление сбоя воды, сопровождающееся уменьшением глубин на фарватере. Затем по мере отступления берега от общего направления русла уменьшается угол схождения струи и, наконец, струи не сходятся к фарватеру, а начинают растекаться в разные стороны. В этом месте гладкая продольная вымоина дна заменяется волнообразною поверхностью с постепенно уменьшающимися глубинами; фарватер как место сходящихся струй прекращается и мутное донное течение выходит на поверхность воды»¹⁰³.

В результате взаимодействия потока и ложка, по мнению Лелявского, должна образоваться следующая конфигурация поверхности речного русла. Вдоль фарватера должны возникнуть продольные, узкие, гладкие, языкообразные вымоины, а на мелях — постепенно приподнимающиеся пологие возвышения дна

¹⁰² Н. С. Лелявский. О речных течениях и формировании речного русла, стр. 115.

¹⁰³ Там же, стр. 121.

с гребенчатой поверхностью, усеянной валиками, направленными поперек течения воды.

Заслуга Н. С. Лелявского в исследовании русловых процессов состоит в том, что он впервые подошел к изучению речных течений не умозрительно, а опираясь на многочисленные измерения, проведенные в натуральных условиях, а также в том, что на основе этих измерений он выявил картину поперечных течений и их действие на русло. Однако он не дал гидродинамического объяснения поперечной циркуляции. Объяснение же ее стягиванием быстрым фарватерным течением воды со всего русла не вскрывает сущности явления, а отрицание Лелявским действия на поток центробежной силы является ошибочным.

На слабость теоретического обоснования теории Лелявского указывал еще В. М. Лохтин. На I съезде инженеров-гидротехников (1892), где Лелявский выступал от подкомиссии по определению нормальной ширины проектной трассы, которая в обоснование своих предложений приняла некоторые положения Лелявского, между ним и Лохтиным произошла довольно горячая и даже резкая полемика. Речь шла об утверждении Лелявского, которое он впоследствии, в докладе на II съезде (1893), сформулировал так: «Схождение струй, не вызывая ни уплотнения воды, ни увеличения скорости течения, которая, напротив, от удара струек одна об другую уменьшается, — производит только увеличение давления на твердые тела, встречающиеся на пути движения воды»¹⁰⁴. Действительно, это положение трудно признать физически обоснованным. Непосредственно из представлений о внутренних течениях вытекали предложения Лелявского относительно методов сухоходного выправления рек.

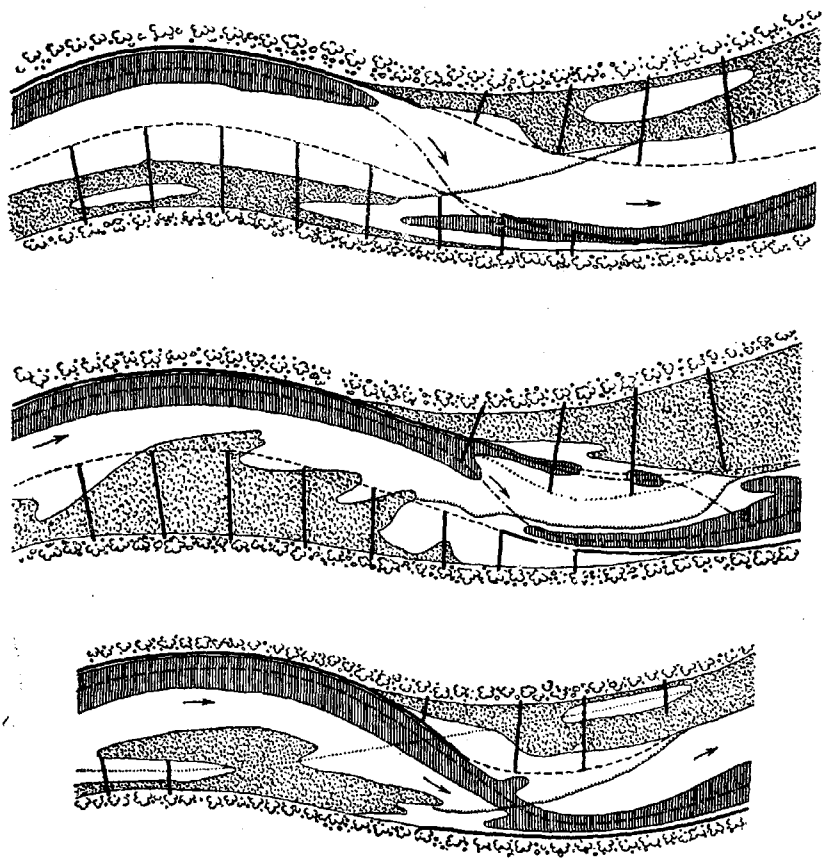
Он был принципиальным противником водостеснительных мероприятий, т. е. того направления в речной гидротехнике, которое разделялось большинством инженеров во Франции и Германии, но не выдержало испытания на наших реках с их большой амплитудой колебания уровней. Метод выправления, предложенный Лелявским, состоит, коротко говоря, в удлинении вогнутого берега путем устройства струенаправляющей дамбы, выдвигаемой в русло до некоторой ширины с оставлением противоположного берега свободным от каких-либо сооружений.

Рисунок на стр. 161 с изображением плана одного и того же переката и сооружений для образования судового хода хорошо иллюстрирует выправительные методы Фарга и Лелявского, их различие и эффект от их применения. Вверху показаны сооружения, запроектированные по методу Л. Фарга.

Средний рисунок изображает те изменения в очертаниях переката и в распределении глубин, которые получились в резуль-

¹⁰⁴ «Вопросы гидротехники свободных рек», стр. 101.

тате действия выправительных сооружений. Как видно, образования судового хода через перекат достигнуто не было. На нижнем рисунке показан план переката с хорошим судовым ходом, образовавшимся в результате действия сооружений, установленных по методу Н. С. Лелявского.

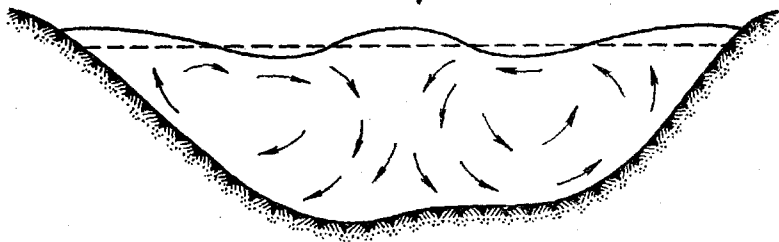


Выправительные сооружения:

сверху — запроектированные по методу Л. Фарга; в середине — результат действия сооружений, установленных по методу Л. Фарга, внизу — результат действия сооружений, установленных по методу Н. С. Лелявского

Излагая теорию Лелявского, мы остановились также и на истории вопроса с поперечной циркуляцией в потоках. Но пока что речь шла лишь о поперечной циркуляции на изгибе русла. Между тем, принципиально для выяснения некоторых русловых явлений весьма важное значение имеет также вопрос о существовании поперечной циркуляции на прямых участках.

Известно, что меандричность (извилистость) рек является формой, лучшим образом отвечающей их естественному состоянию. Но можно ли думать, что эта форма вырабатывается лишь в результате действия случайных причин или, наоборот, правильно считать, что она возникает как следствие закономерных гидродинамических явлений, с неизбежностью превращающих всякий прямолинейный поток, у которого имеется размываемое ложе, в извилистый. Ответ на этот вопрос как раз и связан с выяснением того, существуют ли упорядоченные, закономерно возникающие поперечные течения в прямолинейных потоках?



Профиль живого сечения в прямолинейном потоке по М. Меллеру

Считается, что впервые на поперечную циркуляцию в прямом русле было указано М. Меллером. В его статье, цитировавшейся выше, находится следующее описание течения в прямолинейном потоке: «В прямой части русла каждая водная нить представляет из себя, по-видимому... не прямую линию, а спираль, горизонтальная проекция которой образует змеевидную линию. Вода поднимается по береговым откосам, направляется затем под слабым уклоном к середине реки, опускается здесь вниз, расходится в стороны на глубине и, приближаясь опять к откосам, возобновляет круговые движения. Правильная река, согласно этому воззрению, представляет собой две вращающиеся вокруг своей продольной оси струи»¹⁰⁵. Поперечное движение жидкости Меллер объясняет тем, что в фарватерной части у поверхности происходит накопление водной массы, которая может уравновеситься лишь нисходящим движением воды. Накопление же воды на середине потока Меллер считает фактом, подтверждаемым тем, что лед и другие плавающие тела направляются к фарватеру и из него не выходят, т. е. объясняя его втягиванием в себя быстрым фарватерным течением струй со всего русла, о чем мы уже говорили, излагая взгляды Н. С. Лелявского.

¹⁰⁵ М. Меллер. Исследование движения воды в реке и связанной с ним выработки речного профиля. «Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г.», стр. 502

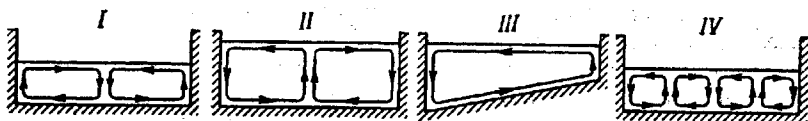
По Меллеру, профиль, живого сечения потока и поперечные течения в нем представляются согласно приводимому рисунку.

Из этого рисунка видно, что линия свободной поверхности профиля живого сечения имеет повышение у берегов и на середине русла, причем на середине повышение меньше, поскольку, как говорит Меллер, при движении от берегов к середине часть поперечной скорости течения расходуется на трение.

Интересно отметить, что именно такой вид линии свободной поверхности был замечен еще Леонардо да Винчи, который писал: «Всегда течение прямых рек выше в середине их ширины и по бокам выше, чем в промежутке между серединой их ширины и этими боками». Он говорил также и о поперечных течениях в прямых руслах, считая, что вода в них «всегда движется по наклону от середины к противоположным берегам и от этих противоположных берегов к середине реки»¹⁰⁶. Следует сказать, что картина, рисуемая Меллером, является в значительной мере умозрительной, так как сам же он говорит, что очень глубоко погруженные поплавки испробованы им не были.

Мы уже говорили, что весьма обстоятельные измерения направлений речных струй по всей толще потока были проведены Н. С. Лелявским. Хотя нередко можно встретить в литературе указания (М. В. Потапов, А. И. Лосиевский и др.), будто Лелявский также считал, что в прямолинейном потоке существует течение в виде двух винтов, но прямого утверждения этого у Н. С. Лелявского нет.

На перегибах русла, которые как раз представляют собой прямые участки между двумя изгибами, сходящегося фарватерного течения, говорит Лелявский, не существует, наоборот, имеется растекание, разброс струй, что, конечно, исключает появление здесь упорядоченного циркуляционного движения.



Типы циркуляционных течений по А. И. Лосиевскому

Впервые детальные лабораторные исследования течений в прямолинейном потоке были проведены в 30-х годах XX в. А. И. Лосиевским. При этом им были установлены следующие четыре типа циркуляционных течений (см. рисунок): I тип — течения, расходящиеся по дну от середины к берегам и дающие

¹⁰⁶ Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения, стр. 361.

двойную замкнутую циркуляцию; II тип — течения, сходящиеся по дну к середине от берегов и дающие двойную замкнутую циркуляцию; III тип — течения, направляющиеся по дну от глубокого берега к мелкому и имеющие одинарную замкнутую циркуляцию; IV тип — смешанные течения, являющиеся переходными к одному из первых трех основных типов.

Следует сказать, что убедительного ответа на вопрос о силах, вызывающих поперечные циркуляции в прямолинейном потоке, пока что не дано. Это обстоятельство и дает повод многим современным авторам сомневаться в существовании поперечных циркуляций в правильных призматических руслах (В. М. Маккавеев, М. В. Потапов и др.).

В связи с вопросом о поперечной циркуляции в прямых руслах находится явление изменения формы водной поверхности в поперечном сечении во время подъема и спада уровня.

Ф. Форхгеймер говорит, что еще итальянский гидравлик Д. Гульельмини (1655—1710) заметил, что при поднимающейся воде в реке образуется выпуклость зеркала, которая иногда может стать заметной.

Форхгеймер приводит ряд исследователей, определивших на разных реках величину подъема воды в фарватере, причем были отмечены случаи, когда выпуклость доходила до 2,4 м (например, на р. Луаре). Э. Реклю отмечает, что самый наглядный пример образования выпуклости на водной массе в центральной части течения можно видеть на больших реках России. Он ссылается на К. М. Бэра, который наблюдал на Волге у Астрахани выпуклость величиной до одного метра.

Выше мы приводили наблюдения В. М. Лохтина за подъемом уровня на середине р. Чусовой во время прибыли воды, который (подъем) было «заметно простым глазом».

Что касается явления вогнутости при спаде половодья, то, как говорит американский писатель Г. Марш, автор уже упомянутой книги «Человек и природа», почти все естествоиспытатели, занимавшиеся вопросами гидравлики, утверждают, что реки всегда имеют выпуклую поверхность, но с этим не согласны лесопромышленники. «Они, — пишет Марш, — говорят, что, когда вода в реке поднимается, то в середине русла она выше и стремится выбросить на берег плавующие на ней предметы, но когда вода спадает, то в середине русла она ниже, и тогда плавующие на ней предметы стягиваются к середине»¹⁰⁷.

Форхгеймер полагает, что величина вогнутости при спаде половодья никогда не достигает величины выпуклости. Это, говорит он, объясняется тем, что наводок спадает гораздо медленнее, чем нарастает. Впрочем, имеются и иные утверждения.

¹⁰⁷ Г. Марш. Человек и природа. СПб., 1866, стр. 290.

Реклю, например, считает, что при спаде воды «в уровне реки происходит почти такое же сильное изменение, но только в обратном направлении»¹⁰⁸, хотя он тут же оговаривается, что уровень в фарватере «тотчас же» снова становится более высоким.

Однако у других ученых можно найти утверждение, что повышения уровня воды на фарватере не существует. Так, например, Э. Шмидт, профессор политехнической школы в Дармштадте, соавтор переведенного у нас в 1880 г. сочинения «Водяные сооружения», писал: «Многие утверждают, что поверхность текущей воды есть выпуклая кривая, имеющая вершину на главной струе. Но так как главная струя, обладая наибольшей скоростью, ведет и наибольшее количество воды, то, напротив, линия зеркала воды должна иметь низкую точку в главной струе»¹⁰⁹. М. В. Потапов, говоря о причине поперечной циркуляции в прямолинейных участках, указывает на понижение уровня на стрежне по сравнению с уровнем у берегов «особенно заметное в периоды спада горизонтов»¹¹⁰.

Итак, многие ученые и инженеры считают несомненным образование выпуклости в профиле поперечного сечения реки во время подъема половодья и вогнутости во время его спада.

Заметив указанное явление, исследователи, понятно, стремились и объяснить его, т. е. установить причины, вызывающие негоризонтальность водной линии поперечного сечения в прямолинейном потоке.

Видный русский гидротехник Д. Д. Неелов, излагая мнения ряда авторов и имея в виду прежде всего высказывания Л. Г. Дюбуа, пишет, что образование выпуклости объясняется неодинаковостью скорости течения по ширине реки, которая (неодинаковость) больше обнаруживается при наивысшем уровне, когда стремнина потока наиболее испытывает тормозящее действие дна и берегов. «Вследствие большой скорости, свойственной волне разлива, — говорит Неелов, — жидкая масса, которую она увлекает за собой уменьшает давление воды в середине реки и, чтобы сохранить равновесие, вода от берегов устремляется к середине реки и возвышает ее уровень против уровня у берегов, образуя на поперечной поверхности воды в реке нечто вроде двухскатного отлогого водяного хребта с некоторой выпуклой кривизной, высшая часть которого находится на стремнине течения и с вершины которого вода по поверхности стекает обратно к обоим берегам, как с наклонных плоскостей. Когда же волна

¹⁰⁸ Э. Реклю. Земля, вып. 5. Реки. М., 1914, стр. 88.

¹⁰⁹ Водяные сооружения. «Журнал Министерства путей сообщения», 1880, т. III, кн. 2, стр. 251.

¹¹⁰ М. В. Потапов. К вопросу о движении жидкости на повороте русла. Соч., т. II. М., 1951, стр. 14.

разлива исчезает и скорость течения начинает уменьшаться, то, вследствие инерции воды, равновесие не вдруг устанавливается; средняя струя уходит, а боковые части не вдруг заступают ее место; вследствие чего в средней части реки происходит заметное понижение уровня; поверхность воды в реке принимает форму корыта, или кривую, вогнутую ко дну, и вода, которая постепенно накоплялась близ берегов, течет тогда от них к середине реки»¹¹¹.

Здесь, как мы видим, не только дается описание явления, но и делается попытка его гидродинамического объяснения. Оно сводится к тому, что выпуклость возникает вследствие необходимости скопления воды на середине реки для возмещения убыли давления в средней части потока, возникающей в результате значительного увеличения в этом месте скорости течения.

Дюбуа, обосновавший это положение, говорит Д. Д. Неелов, считал, что если столб жидкости, заключенный в неопределенной жидкой массе или между твердыми стенками, придет в движение с некоторой скоростью, то боковое давление, которое он производил на окружающую жидкость или на твердые стенки до движения, уменьшится на часть веса столба, соответствующего скорости движения, и, следовательно, для сохранения давления высота столба, пришедшего в движение, должна увеличиться. При этом говорится, что такой вывод вытекает из уравнения Бернулли.

Не все гидравлики признавали правильность объяснения явления выпуклости, данного Л. Дюбуа, ставя вместе с тем под сомнение и само явление как противоречащее гидростатическому закону распределения давлений в потоке. Тем не менее, именно такое объяснение причины искривления водной поверхности при подъеме и спаде половодья мы встречаем и у некоторых современных авторов.

Мы достаточно подробно остановились на различных точках зрения относительно негоризонтальности водного зеркала потока при подъеме и спаде уровня и на объяснениях этого явления, существование которого, по-видимому, признается многими гидрологами и гидравликами. Как же указанное свойство речного потока связывается с важным для теории русловых процессов вопросом о поперечной циркуляции на прямых участках?

Если мы обратимся к описанию картины паводка у инженеров и географов прошлого столетия, например, у названных выше Д. Д. Неелова и Э. Реклю, то найдем представления наших предшественников недостаточно ясными. Так, в описании указанных авторов вода в одно и то же время течет в поперечном направлении и к середине, и от нее к берегам, что, очевидно, мо-

¹¹¹ Д. Д. Неелов. Указ. соч., стр. 200.

жет быть только в случае кругового движения воды, но о нем эти авторы не говорят. Определенные указания на поперечную циркуляцию при подъеме и спаде уровня можно найти только в более поздних сочинениях. В «Курсе физической географии» П. И. Броунова читаем: «Когда уровень воды выпуклый, вода поверху движется от середины к берегам (от более высокого уровня к более низкому), вследствие чего посередине вода поднимается к поверхности, вызывая этим движения вдоль дна от берегов к середине; у берегов же образуются нисходящие течения. Вращения в обратные стороны бывают при спаде вод»¹¹².

О циркуляции именно таких направлений можно прочесть и у некоторых современных авторов. При этом они ссылаются как на наблюдения в природе (скопление плывающих предметов у берегов при подъеме и на стрежне при спаде), так и на лабораторные опыты.

Вместе с тем укажем на то, что в современной литературе существует и другая, противоположная схема поперечных циркуляций при подъеме и спаде уровня. Так, в работе «Метод искусственной поперечной циркуляции» М. В. Потапов, говоря о причинах возникновения поперечной циркуляции, указывает на слабо выраженную двойную поперечную циркуляцию с расходящимися донными токами при увеличении расхода и со сходящимися — при его уменьшении, которая наблюдается при неустановившемся течении¹¹³.

Таким образом, у гидрологов и до сих пор существуют различные точки зрения по вопросу о поперечной циркуляции при неустановившемся режиме: во-первых, не все согласны с тем, что при подъеме и спаде уровня создаются условия, вызывающие поперечную циркуляцию; во-вторых, те, кто допускает, что такие условия возникают (повышение уровня на стрежне, по сравнению с уровнем у берегов во время подъема половодья, и понижение уровня — во время его спада), по-разному представляют направление циркуляций. Вместе с тем следует подчеркнуть, что бесспорных экспериментальных подтверждений той или другой точки зрения не существует.

Возвращаясь к рассмотрению научной деятельности Н. С. Леявского, мы укажем еще на его доклад съезду русских деятелей по водным путям в 1896 г. «Об исследованиях передвижения песчаных кос у гор. Александровска», явившийся значительным вкладом в учение о русловых процессах. Передвижения кос были изучены путем наложения друг на друга тщательно снятых в разные годы планов. Оказалось, что переформирования русла и передвижение кос происходят главным образом во время весен-

¹¹² П. И. Броунов. Курс физической географии. Пг., 1917, стр. 321.

¹¹³ М. В. Потапов. Сочинения, т. I, М., 1951, стр. 39.

них половодий и тем интенсивнее, чем выше и продолжительнее половодье. Н. С. Лелявский пришел к следующим общим выводам¹¹⁴:

1. Речные косы периодически появляются, передвигаются и уничтожаются на определенном участке реки.

2. Появление и исчезновение песчаных кос совершается в одних и тех же местах, определяемых очертанием меженного русла и конфигурацией речной поймы.

3. Выправительные сооружения, возведенные в пределах передвижения песчаных кос, отодвигая весьма мало вверх места их образования, ускоряют спускание и удлиняют район их распространения.

4. Исследования подтвердили сделанные ранее Лелявским определения расположения подводных гребней песчаных кос о том, что эти гребни пересекают русло наискось зигзагообразно, связывая оконечность каждой надводной косы с нижеследующей косой противоположного берега, обращаясь при этом своими выпуклостями попеременно то к одному, то к другому берегу.

Переходя к освещению роли в развитии русловой гидрологии других русских инженеров-гидротехников, прежде всего остановимся на выдающейся научной деятельности В. М. Лохтина (1849—1919).

Изданная им в 1895 г. в Казани монография «О механизме речного русла» представила собой глубокую и оригинальную работу в области русловой гидрологии. Она явилась крупным вкладом русской творческой мысли в познание русловых закономерностей. В. М. Лохтин был одним из наиболее образованных инженеров-гидротехников своего времени, прекрасным знатоком наших рек. Он написал целый ряд значительных работ, касающихся как общих вопросов речного быта, так и важнейших специальных проблем, в том числе льдообразования и режима наносов. В. М. Лохтин по праву считается одним из основателей учения о формировании речного русла.

Мы уже называли его работу «Река Днестр», в которой были высказаны оригинальные мысли автора о руслообразовательных процессах. Укажем также на интересный доклад В. М. Лохтина «Современное состояние вопроса об изучении свойств рек», прочитанный в 1884 г. и являющийся продолжением его доклада 1883 г. «Современное положение вопроса о способах улучшения рек». В этом докладе В. М. Лохтин, противопоставляя гидрологический («натуральный») и гидравлический («математический») методы изучения потоков, говорит, что теория о параллельно-струйном движении воды в реках является неправильной и излагает теорию, которая «исключает самое понятие о струйном движении воды и противопоставляет ему внутренние движения

¹¹⁴ «Вопросы гидротехники свободных рек», стр. 154.

О
МЕХАНИЗМЪ
РЪЧНОГО РУСЛА.

В. Лохтина.



КАЗАНЬ
Типографъ Б. А. Добролюбова, 6 Вечеслава
1895



Титульный лист книги В. М. Лохтина «О механизме речного русла»

воды в своей массе»¹¹⁵. Тут же он указывает, что эта теория дает объяснение спирального движения воды, обуславливающего форму дна русла. Однако вопроса о спиралеобразном движении жидкости автор не развивает. В этом докладе В. М. Лохтин говорит о трех элементах, определяющих особенности каждой реки: климатические условия, строение почвы и рельеф бассейна. Интересно еще привести высказанный в докладе взгляд В. М. Лохтина на место гидрологии в системе наук. По этому поводу в докладе говорится: «...раз вопрос об утилизации вод составляет нераздельное целое с гидрологией, то и эта последняя тем самым делается наукой специально инженерной, соприкасающейся с одной стороны с науками натуральными и с другой, — с наукой собственно о водных сооружениях с точки зрения их устройства и проектирования»¹¹⁶.

Наиболее полное выражение взгляды В. М. Лохтина на руслообразовательные процессы нашли в упомянутой его работе «О механизме речного русла», на которой мы и остановимся.

Как мы видели, ни Фарг, установивший определенные соотношения между глубинами и формой русла, ни Лелявский, давший обстоятельный анализ процесса взаимодействия потока и русла, ни другие исследователи не учитывали такого важного обстоятельства, что расходы и уровни воды в реках не являются постоянными и могут изменяться в значительных пределах. Они сделали свои обобщения главным образом применительно к меженимому режиму.

Между тем для наших равнинных рек, имеющих преимущественно снеговос питание, большая амплитуда колебания уровней особенно характерна. Во время весенних половодий уровень большинства наших крупных рек повышается более чем на 3 м, на Волге подъем доходит до 10—13 м, на Дону до 7—10 м, на Днепре до 6—8 м. На указанный недостаток предыдущих исследований, адресуя свою критику главным образом французским инженерам, и обратил внимание В. М. Лохтин. Следует сказать, что книга В. М. Лохтина была тогда же переведена на французский язык.

В. М. Лохтин устанавливает следующие, не зависящие друг от друга, элементы, определяющие характер всякой реки:

- 1) многоводность, определяемая осадками и почвенными условиями бассейна;
- 2) скат или крутизна, обуславливаемая рельефом пересекаемой рекой местности;
- 3) степень размываемости или устойчивости ложа реки.

¹¹⁵ В. Лохтин. Современное положение вопроса о способах улучшения рек. СПб., 1886, стр. 73.

¹¹⁶ Там же, стр. 85.

Поскольку все эти элементы могут проявляться в разной степени и находиться в различных сочетаниях, ясно, что для изучения режима каждой данной реки необходимо знание физико-географических условий бассейна. Отсюда следует важный практический вывод: раз не может быть рек с одинаковым гидрологическим режимом, не может быть и универсальных приемов их выправления. Лохтин настойчиво возражал против механического перенесения на наши реки методов выправительных работ, выработанных в Западной Европе.

Он впервые вводит деление рек на устойчивые и неустойчивые. Для характеристики устойчивости он предлагает пользоваться коэффициентом, представляющим отношение среднего диаметра составляющих ложе частиц к километрическому падению водной поверхности:

$$k = \frac{d}{\Delta H}.$$

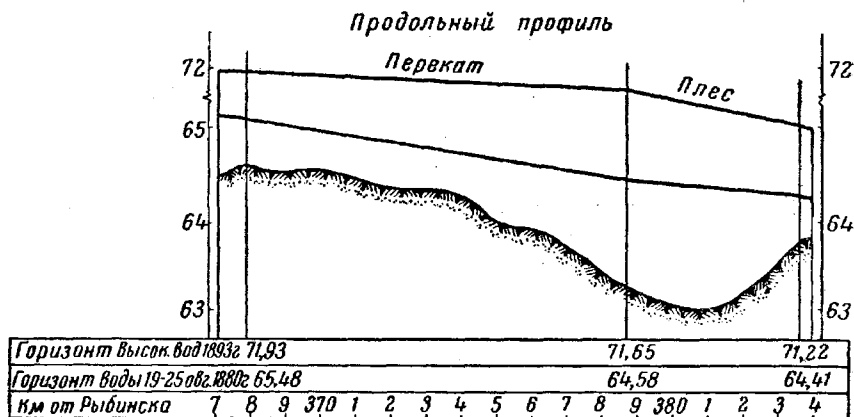
Свой анализ русловых явлений Лохтин в основном посвящает руслу устойчивому, т. е. такому, в котором чередуются глубокие и мелкие места, плесы и перекаты, сохраняющие почти неизменным свое местоположение. Из рассмотрения данных гидрометрических измерений на некоторых реках Лохтин делает очень важный вывод, что продольный профиль водной поверхности устойчивых рек имеет ступенчатый характер, причем во время высоких вод уклон больше на плесах, а во время низких — на перекатах. По поводу правильного чередования в устойчивых реках плесов и перекатов он говорит следующее: «Имея в своем падении единственную силу для удаления постоянно поступающих в русло засорений и ощущая в этой силе недостаток, по сравнению с сопротивлением наносов, река как бы экономит ее, сосредоточивая большую ее часть то тут, то там, смотря по тому, где она в данное время всего более нужна. При высоких уровнях уклон концентрируется на плесах, чтобы, очистив их от наносов, перейти по спаде вод на перекаты и приступить к сносу отложений, которые временно были оставлены здесь высокими водами за недостатком силы. Таким образом, как те, так и другие отдельные участки русла, плесы и перекаты, являются здесь неизбежными и необходимыми орудиями в общем деле влечения наносов и притом определенно разграниченными и постоянно сохраняющими свои места расположения, сообразно органически присущим руслу местным условиям»¹¹⁷.

Ясно, что между устойчивыми и неустойчивыми реками находятся реки промежуточного характера, но что касается неустойчивых рек, то они, согласно Лохтину, характеризуются необычным уклоном продольного профиля водной поверхности

¹¹⁷ В. Лохтин. О механизме речного русла. Казань, 1895, стр. 33.

и непрерывным влечением наносов вдоль всего русла. Лохтин особенно подчеркивал, что главную роль в формировании русла имеют высокие воды. Говоря о методах инженерного улучшения рек, он считал, что они должны быть дифференцированными в зависимости от гидрологических особенностей и прежде всего от степени устойчивости той или иной реки.

В толковании Лохтиным отдельных русловых явлений можно, в свете современных знаний, обнаружить некоторые недостатки, однако они настолько незначительны, что положения,



Изменение уклона водной поверхности на плесе и пережете в зависимости от высоты уровня (Костенский пережат на Волге)

развитые основателем русской школы русловой гидрологии, в основном остаются в силе и сегодня.

Представления Лохтина о русловых процессах есть плод его огромного практического опыта, наблюдательности и глубокого проникновения в сущность речных явлений. Недаром монографию «О механизме речного русла» Лохтин заключил словами: «Поменьше формул и побольше наблюдательности — вот то пожелание, которое дело изучения рек, согласно современному своему положению, может высказать специалистам в интересах дальнейшего своего развития»¹¹⁸.

В те годы, когда наиболее активно протекала научная и практическая деятельность В. М. Лохтина и Н. С. Леелявского (конец XIX — начало XX в.), в русловой гидротехнике, наряду со спорами между сторонниками водостеснительных и струенаправляющих сооружений, развернулась острая борьба между

¹¹⁸ В. Лохтин. О механизме речного русла. Казань, 1895, стр. 49.

приверженцами, так сказать, ортодоксальной системы улучшения рек, которые считали, что для выправления русел должна быть использована сила самого потока, и представителями нового метода — землечерпания. Последние, возглавлявшиеся профессором Петербургского института инженеров путей сообщения В. Е. Тимоновым и инженером В. Г. Клейбером, долго оставались в меньшинстве, но все же в конце концов победа осталась за ними. Победе сторонников механического землечерпания способствовали, прежде всего, прогрессивность самого метода, его надежность и оперативность, убедительно доказанные Клейбером, который в павигацию 1901 и 1902 гг. с помощью землечерпания добился на некоторых волжских перекатах необходимой глубины в меженное время. В дальнейшем землечерпательные работы почти полностью вытеснили выправительные. На разработке теоретических вопросов речной гидрологии это обстоятельство сказалось явно отрицательным образом, так как его результатом было то, что изучению структуры потока стало уделяться меньше внимания.

Крупный вклад в теорию русловых процессов после Лохтина и Лелявского внес Н. Н. Жуковский; его весьма интересные исследования пришлись уже на первые годы после Октябрьской революции. Из современников Лохтина и Лелявского, высказавших много ценных и плодотворных идей, кроме Тимонова и Клейбера, назовем еще В. А. Макарова, Н. И. Максимовича, Ф. Г. Зброжека, С. П. Максимова, Н. П. Пузыревского.

В. Г. Клейбер вслед за М. Меллером высказал мысль об искусственной поперечной циркуляции, возбуждаемой установкой в русле щитов под углом к направлению течения. Он указал в 1894 г. на то, что «щитовая плотина, опущенная на некоторую глубину, дает могущественное средство для разделения струи на поверхностную и донную, сообщая струям, ударяющим в щиты и проходящим под ними, скорости по двум взаимно перпендикулярным направлениям: параллельному и нормальному к щитам. Целесообразною установкой этих плотин могут быть вызваны в русле те именно течения, которые должны привести к образованию ложбины в желаемом направлении». И далее: «У поверхности течение отклонится щитами к фарватеру; здесь вследствие столкновения струй справа и слева произойдет подпор, под влиянием которого донные струи, насыщенные наносами, разойдутся в обе стороны по направлению к плотинам, чему еще более будут содействовать струи воды, проходящие под щитами нормально с последними.

Вследствие постоянного притока к фарватеру струй, лишенных наносов, и удаления с него более насыщенных ими, посте-

ценно должна разработаться вдоль фарватера ложбина, которую и воспользуется судоходство»¹¹⁹.

Предложение Клейбера в 30-х годах XX в. было всесторонне разработано в теоретическом и инженерном отношении советскими учеными М. В. Потаповым, А. И. Лосиевским и др.

В. Г. Клейбер впервые организовал на Волге в 1894 г. службу прогноза колебаний уровней воды и глубины на перекатах, о чем им было доложено III съезду русских деятелей по водным путям. Первый прогноз, составленный им 30 мая 1894 г., гласил: «Ожидается до 9 июня на перекатах выше Нижнего глубина не менее 11 четвертей 1 вершка»¹²⁰.

Большой заслугой В. Е. Тимонова является организация им в 1907 г. первой в России гидротехнической лаборатории в Институте инженеров путей сообщения в Петербурге.

В. А. Макаров первым у нас начал исследование зависимости между горизонтами воды и высотой перекатов. На I съезде инженеров-гидротехников в 1892 г. он сделал доклад по этому вопросу, основанный на обработке сведений за 1886—1890 гг. по 73 волжским перекатам между Рыбинском и Казанью. Исследования В. А. Макарова показали, что высота перекатов находится в прямой зависимости от высоты горизонта воды, т. е. при высоких горизонтах перекаты нарастают, а при низких — размываются¹²¹.

Отмечая значительность вклада, внесенного в развитие руслевой гидрологии Ф. Г. Зброжеком, укажем на то, что некоторые положения, так убедительно развитые В. М. Лохтиным (о руслообразующей роли высоких вод, о соотношении уклонов на плесах и перекатах в половодье и межень и зависящих от этого деформациях русла), в общей форме были высказаны Зброжеком в его докладе «Современное положение в России вопроса о выправлении рек», прочитанном в Институте путей сообщения в ноябре 1887 г.

О Зброжеке следует еще сказать, что в 1890—1896 гг. он опубликовал «Курс внутренних водяных сообщений», представляющий собой лекции, прочитанные автором в Институте инженеров путей сообщения. В этом курсе имеется глава «Реки в естественном состоянии», в которой говорится о происхождении и питании рек, гидродинамических элементах и общих свойствах потока; движении наносов, руслообразовательных процессах, ледовых явлениях. В 1897 г. вышло второе, переработанное и дополненное издание курса; в 1915 г. курс был переиздан

¹¹⁹ А. В. Аносов. Предшественники речного землечерпания и выправительных работ. Казань, 1915, стр. 147.

¹²⁰ В. Г. Клейбер. Предсказания колебаний уровня воды и глубины перекатов на р. Волге. СПб., 1896, стр. 96.

¹²¹ «Труды съезда инженеров-гидротехников в 1892 г.». СПб., 1892.

вновь. Ниже будет сказано о большой роли Ф. Г. Зброжека в исследовании вопроса о максимальных расходах воды. Теперь мы очень кратко остановимся на истории проблемы образования долин, т. е. того элемента рельефа, в пределах которого как раз и развиваются русловые процессы и который сам является по большей части продуктом деятельности текущей воды.

Процесс образования долин все более выяснялся по мере накопления знаний об общих законах водной эрозии. Впервые определенные закономерности, присущие долине и руслу, подмечают итальянские ученые. Так, Г. Галилей (1564—1642) дает определение профиля равновесия реки как вогнутой кривой, при которой в реке устанавливается соответствие между размывающей силой потока и сопротивлением русла¹²².

Немало замечательных мыслей о рельефообразующей деятельности водных потоков было высказано М. В. Ломоносовым в его знаменитом сочинении «О слоях земных» (1763).

Установлению основных положений водной эрозии много способствовали исследования, проведенные в 1841 г. французским инженером А. Сюреллем¹²³. Из этих положений применительно к речным долинам, в частности, вытекает, что все они имеют линейное протяжение, характеризуются однообразным продольным уклоном, никогда не пересекаются друг с другом, т. е. при встрече соединяются в одну долину.

Из русских ученых взгляд об эрозионном происхождении долин вполне разделял, например, И. А. Двигубский (1771—1839). В более позднее время, в 1861 г., совершенно отчетливо об этом писал также И. П. Глушинский. Так, он считал, что образование речного русла и долины «связано с общим изменением вида земной поверхности, продолжающимся и донныне, и зависит исключительно от физических и отчасти химических сил воды.

Всякая поверхность, по которой протекает вода,— продолжал Глушинский,— даже твердейшие слои непременно должны уступить хотя медленному, но разрушительному ее действию... Конечно, размываемость скалы не может происходить скоро... однако ж нет никакого сомнения, что именно таким образом образовались глубокие долины, прорезывающие горные хребты и в них углубленные с некоторою даже извилистостью русла рек»¹²⁴.

Вопрос о происхождении долин, о процессе их образования привлекал внимание многих естествоиспытателей. Особенно интересные взгляды были высказаны русскими учеными. Им

¹²² К. К. Марков. Основные проблемы геоморфологии. М., 1948.

¹²³ И. С. Шуклин. Общая морфология суши, т. I. М., 1934.

¹²⁴ И. П. Глушинский. Водяные сообщения (литографированное издание лекций 1861—62 г., записанных Н. В. Бернадским), стр. 3.

принадлежит разработка теорий, отличающихся оригинальностью мысли и широтой охвата проблемы.

Выдающийся русский ученый В. В. Докучаев (1846—1903) опубликовал в 1878 г. обширную монографию «Способы образования долин Европейской России», в которой изложил свою теорию образования долин путем естественного соединения обширной системы озер, покрывших, как он полагал, Русскую равнину в послеледниковое время, причем первостепенную роль в этом процессе слияния озер он отводил оврагам. Однако другие ученые не были склонны придавать этому способу образования долин универсальный характер.

Так, известный геолог С. Н. Никитин (1851—1909) считал¹²⁵, что теория В. В. Докучаева, пригодная для области финляндских и прибалтийских озерных систем, к рекам центральной России применима лишь в единичных случаях. Теория В. В. Докучаева, прогрессивная по своей идейной сущности, поскольку в ней получил последовательное развитие эволюционный подход к процессам, происходившим и происходящим на земной поверхности, по-прежнему оставляла необъясненными некоторые особенности в строении долин, например, несимметричность террас, их обрывчатость.

В теории, предложенной С. Н. Никитиным, эти особенности нашли убедительное объяснение. Весь процесс образования долин связывается С. Н. Никитиным с деятельностью самих рек, с их непрерывным блужданием по пойме и глубинной эрозией. Между прочим, В. В. Докучаев, касаясь формы луговых приречных долин, также считал, что она частично объясняется «страствованием рек от одного берега к другому», о чем он говорил еще в 1876 г. в своем докладе «Об обмелении рек в Европейской России». Но, конечно, главное объяснение этой формы он видел в происхождении долин путем слияния озер. Следует, однако, отметить, что распространение долин эрозионного происхождения С. Н. Никитин, очевидно, преувеличивал. Остановимся далее на вопросе, касающемся формы поперечного профиля долин и русел и имеющему отношение к явлению меандричности рек.

Многими натуралистами, в частности еще известным путешественником П. С. Палласом (1741—1811), была замечена одна почти всеобщая русловая особенность, состоящая в том, что у рек нашего полушария правый берег крутой, а левый пологий. Но, говорит Бер, Палласе, по-видимому, не нашел физической причины такого правила. Считается, что первым, кто указал на суточное вращение земли как на причину этого явления, был русский ученый, исследователь Сибири П. А. Словцов (1767—

¹²⁵ С. Никитин. Общая геологическая карта России. Лист 56. СПб., 1884.

1843). Л. С. Берг пишет, что «попытка приложить влияние вращения земли к объяснению неравносклонности берегов рек претерпели следующие стадии развития.

1) Впервые Словцов в 1827 г.¹²⁶ высказал мысль о влиянии вращения земли на склоны берегов сибирских рек, но дал объяснение весьма несовершенное, пригодное, по мнению Словцова, для рек, текущих с юга на север.

2) Значительно более приблизился к истине Бэр в 1856 г., предложив объяснение, охватывающее реки, текущие по меридиану как с юга на север, так и с севера на юг.

3) Наконец, Бабине в 1859 г. высказал единство правильное обобщение, распространив влияние вращения земли на все реки, в каком бы направлении они ни текли: по меридианам, параллелям или в любом ином (кроме экваториального) направлении»¹²⁷. Количественно влияние на поток вращения земли выражается так называемой силой Кориолиса:

$$F = 2\omega vt \sin \varphi,$$

где ω — угловая скорость вращения Земли, v — скорость течения воды, m — масса воды, φ — географическая широта места.

Явление большей крутизны правых берегов рек северного полушария, объясняемое суточным вращением земного шара, вошло в литературу под названием закона, или правила Бэра. Имеется, однако, немало рек, для которых это правило оказыва-

¹²⁶ В «Письме из Сибири», датированном 30 декабря (1826 г.) и напечатанном в 1827 г. в ч. XV «Московского телеграфа», П. А. Словцов пишет: «Примечания мои в пути были следующие: А. Едучи Иртышем до Самарова и оттуда Обью до Березова, я опять видел нагорный берег реки на стороне восточной, как и по прочим рекам, Чулыму, Енисею, Ангаре и Лене. Недалеко было до вопроса: отчего произошел такой порядок единообразия при реках, текущих параллельно меридиану? Прежде я замечал такое же единообразие в сибирских реках, которые сперва льются поперек меридианов и потом склоняются к северу, как, например, в Исетии, Тоболе, Оне и пр. Нельзя ли это и другое объяснить суточным движением земли к востоку, если только явление замечаемого единообразия подтверждается и в других частях нашего шара?»

В связи с вопросом о приоритете указания на суточное вращение земли как на причину неравной крутизны берегов рек нам кажется небезынтересным обратить внимание на цитированную на стр. 68 статью Алопеуса «Описание вод Карелии». В ней автор указывает на то, что западные и северные берега рек и озер ограничены утесами и каменными горами, и связывает это обстоятельство с суточным вращением земного шара. Хотя пастор Алопеус преподносит эту связь как «премудрость всевышнего», который укрепил западные и северные берега, «дабы вода при скором обращении земного шара границы свои не преступала и не могла произвести наводнений», и хотя направление действия воды на берега представляется неправильно, интересен все же сам факт указания Алопеусом на космическую причину различия в крутизне берегов.

¹²⁷ Л. С. Берг. Очерки по истории русских географических открытий. М., 1946, стр. 313.

ется недействительным. У многих рек, крутым является не правый, а, наоборот, преимущественно левый берег. Имеются также реки, у которых асимметрия берегов выражена весьма слабо или вовсе отсутствует. Эти исключения говорят о том, что сила Кориолиса, ввиду ее малости, не всегда может проявить свое эффективное действие. Часто ее влияние сводится на нет другими, более значительными силами. Указанные обстоятельства заставили многих ученых усомниться в действительности закона Бэра и искать иные причины асимметрии. В разное время был предложен ряд интересных теорий.

Так, многие авторы, следуя французскому инженеру-гидрографу Ламбларди, обратившему еще в 1789 г. внимание на роль дождливых ветров, явление асимметрии объясняли влиянием климатических факторов.

Русские ученые Н. А. Димо (1907) и А. Д. Архангельский (1911) решающее значение в образовании неравноскатности долин придавали различию в степени инсоляции на северном и на южном береговых скатах.

Наш крупнейший геолог А. П. Павлов (1854—1929) указал в 1894 г. на то, что причиной асимметрии склонов долин может быть хотя бы слабый наклон водоупорного пласта, прорезаемого долиной. В этом случае крутым будет тот берег, к которому обращен уклон водоупорного горизонта, так как на этом берегу, вследствие выклинивания подземных вод, будут происходить обрушения грунта¹²⁸. Укажем еще на теорию известного географа А. А. Борзова, в которой асимметрия речных долин объясняется первоначальным наклоном земной поверхности. По его теории, крутым, коротким и обрывистым является скат, противоположащий общему уклону местности, а удлиненным, пологим — скат, совпадающий с основным наклоном поверхности данного района¹²⁹.

Обзор теорий, предложенных для объяснения русловой асимметрии, показывает, что каждая из них подчеркивает ту или иную, главенствующую, по мнению авторов, теорий, причину. Но можно вместе с А. П. Павловым безошибочно утверждать, что причины, вызвавшие явление асимметрии, в различных случаях были различны, а в некоторых случаях имели место и комбинации причин.

Укажем только на то, что во всех случаях сила, вызываемая вращением земли, — неперемнная участница скульптурной работы потока.

¹²⁸ А. П. Павлов. О рельефе долин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод. Избр. соч., т. III, М., 1951.

¹²⁹ А. А. Борзов. К вопросу об асимметрии междуречных плато. «Сборник в честь семидесятилетия профессора Дмитрия Николаевича Анучина». М., 1913.

Бэр говорит, что «как ни мала боковая сила, в сравнении с силой течения, но первая достаточна для того, чтобы дать последней косвенное направление на правый, а в южном полушарии на левый берег»¹³⁰.

Действуя тысячелетия, она не могла не оставить на русле своего заметного следа. Отметим еще, что именно сила Кориолиса, как полагают многие исследователи, является причиной поперечной циркуляции на прямолинейных участках, а, следовательно, в конечном итоге и причиной меандричности рек.

5. Краткие выводы

Под влиянием потребностей экономического развития России в послереформенное время русское правительство начинает в 70-х годах XIX в. уделять более серьезное внимание развитию внутренних водных путей сообщения. В результате осознания необходимости всестороннего описания рек в 1875 г. при Министерстве путей сообщения создается Навигационно-описная комиссия под руководством П. А. Фадеева, партиями которой были изучены или рекогносцировочно обследованы все главнейшие реки обеих частей России. Вместе с тем с конца 70-х годов на ряде крупных рек были предприняты значительные выправительные работы. Одновременно с описанием рек большое внимание было обращено на изучение рельефа страны. Благодаря работам А. А. Тилло были получены основные орографические данные о речных бассейнах.

Навигационно-описная комиссия начала организацию сети водомерных постов, явившихся надежной основой изучения режима уровней рек и озер. На ряде крупных рек были организованы гидрометрические станции и начаты измерения скоростей и расходов воды, что позволило впервые определить коэффициенты стока Волги, Днепра, Оки.

Важнейшим результатом деятельности Навигационно-описной комиссии является создание кадров гидротехников-гидрологов, среди которых особенно выделились такие крупные специалисты водного дела, как Н. А. Богуславский, В. М. Лохтин, Н. С. Лелявский, Н. И. Максимович, В. Г. Клейбер и др.

В прямой связи с практическим изучением рек, предпринятым Министерством путей сообщения, находится появление в рассматриваемые годы ценных работ по гидрографии отдельных рек и речных систем, в которых трактовались также многие теоретические вопросы гидрологии, и сочинений, излагавших методы гидрометрических работ.

¹³⁰ К. М. Бэр. Почему у наших рек, текущих на север или на юг, правый берег высок, а левый низмен. «Морской сборник», 1857, т. XXVII, № 1.

Большая роль в развитии гидрологии в этот период и в последующее время принадлежала съездам инженеров-гидротехников и русских деятелей по водным путям.

Потребности сельского хозяйства заставили в самом начале рассматриваемого периода обратить внимание на улучшение водного режима земель, т. е. на проведение прежде всего осушительных, а также оросительных работ. В связи с этим ведомством государственных имуществ, начиная с 1873 г., было организовано несколько экспедиций под руководством И. И. Жилинского, которые, наряду с исследованием водного режима районов их деятельности, имели своей главной целью осуществление осушительных, оросительных и обводнительных мероприятий. И если практические результаты деятельности некоторых экспедиций оказались незначительными, собранные ими фактические данные по гидрографии и водному режиму обширных районов страны помогли выяснению многих вопросов гидрологии суши. В этом смысле следует подчеркнуть важность обсуждения вопроса о гидрологической роли болот в связи с работами Западной экспедиции по осушению болот Полесья, которыми практически была доказана целесообразность осушения болот как в хозяйственном, так и в гидрологическом отношении.

В научном отношении более значительными явились Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного хозяйства в степях России под руководством В. В. Докучаева и Экспедиция по исследованию источников главных рек Европейской России под руководством А. А. Тилло и Ф. Г. Зброжека. Обе эти экспедиции ставили перед собой прежде всего научно-исследовательские задачи и имели целью выработку практических мер по охране вод и упорядочению водного хозяйства. Разработанный В. В. Докучаевым план регулирования водного хозяйства в степях России предусматривал обширный круг мероприятий, в том числе регулирование рек, устройство прудов, насаждение лесных полос. Экспедиция В. В. Докучаева впервые применила получивший широкое развитие в наше время метод исследования гидрологических элементов на специальных опытных участках.

Экспедиция для исследования источников главных рек Европейской России изучала широкий круг вопросов питания рек, и прежде всего влияние на него лесов и болот. Большое внимание экспедиция уделила изучению главных факторов, определяющих водоносность рек, — снеговых и дождевых осадков и испарения. Вопрос об осадках и испарении нашел освещение в ценных работах участника экспедиции Е. А. Гейнца. К числу важных результатов работы экспедиции относятся проведенные Д. Н. Анучиным обширные исследования верхневолжских озер.

Экспедицией были рекомендованы практические меры по сохранению водности рек, причем она высказалась за лесоразведение и выдвинула спорную рекомендацию о сохранении болот, признавая как за лесами, так и за болотами роль хранителей и регуляторов влаги. Руководители экспедиции впервые поставили вопрос о создании в России центрального гидрологического учреждения с административными и научно-производственными функциями. Благодаря своим плодотворным научным результатам и широкой постановке задач по охране водности рек и гидрологическому изучению страны, Экспедиция для исследования источников главных рек Европейской России внесла значительный вклад в развитие гидрологии суши.

В рассматриваемое время появились крупные научно-гидрологические работы, давшие первые обобщения накопившегося материала и положившие начало формированию гидрологии как самостоятельной науки. Первостепенное значение для гидрологии суши имели работы А. И. Воейкова, из которых основополагающим явился его выдающийся труд «Климаты земного шара, в особенности России» (1884). Труды А. И. Воейкова окончательно утверждаются научное представление о круговороте воды в природе. А. И. Воейков формулирует положение о том, что реки являются продуктом климата и что сток рек зависит прежде всего от осадков. Исходя из этого основного положения. А. И. Воейков впервые дает научную классификацию рек земного шара в зависимости от условий их водного питания. А. И. Воейкову принадлежит первый научно-обоснованный и почти точный расчет водного баланса Каспийского моря. Идеи, заложенные в трудах А. И. Воейкова, явились прочным научным фундаментом гидрологии. Под их влиянием шло в России и за границей дальнейшее исследование основных проблем гидрологии, и прежде всего важнейшей для народного хозяйства проблемы речного стока.

В конце рассматриваемого периода публикуются крупные работы, которыми закладываются основы одного из важнейших разделов гидрологии суши — учения о русловых процессах. Обобщая многолетний опыт непосредственного участия в работах по изучению и выправлению рек, инженеры-гидротехники создают теории руслового потока и формирования речного русла. И не только в России, но и во Франции, Германии и других странах создателями теорий русловых процессов явились инженеры-гидротехники, практики водного дела. Однако русскими гидротехниками, и прежде всего Н. С. Лелявским и В. М. Лохтиным, были разработаны более глубоко теории, чем теории их иностранных современников, например французских инженеров Л. Фарга и Г. Жирардона, так как в теориях русских инженеров не только выясняются конечные результаты взаимодей-

ствия потока и русла, но и вскрывается механизм этого взаимодействия и характер самого потока.

Н. С. Лелявский отчетливо формулирует основное положение современной теории русловых процессов, что не только русло управляет потоком, но и поток управляет руслом. Стремясь глубже понять механизм руслового потока, он на основании данных наблюдений отбрасывает как неправильное, господствовавшее в то время представление о параллельности речных потоков. Лелявский формулирует «закон внутренних или относительных перемещений в движущейся жидкой массе», состоящий в том, что в потоках существуют внутренние перемещения частиц, во-первых, по направлениям, сходящимся к местам наибольших скоростей течения или наименьших сопротивлений движению, и, во-вторых, по направлениям, расходящимся от мест повышенных сопротивлений движению. Вследствие этого и в зависимости от формы русла в реках, по Лелявскому, наблюдаются два рода течений: одно, характерное для плесов, — сбойное к фарватеру; другое, характерное для перекатов, — расходящееся, веерообразное. В результате действия этих течений на ложе реки и образуются соответствующие русловые формы. Исходя из своих представлений о внутренних течениях в потоке и их действия на русло, Лелявский считал неправильным применение для углубления перекатов водостеснительных сооружений. Он предложил свой метод борьбы с перекатами, состоящий в удлинении вогнутого берега, благодаря чему сбойное течение, размывающее дно реки, продолжается и на перекате. Заслугой Н. С. Лелявского в исследовании русловых процессов является то, что он впервые подошел к изучению речных течений, опираясь на измерения в натуре, что позволило ему выявить действительную картину направления скоростей на плесах и перекатах и характер взаимодействия потока и ложа.

В. М. Лохтин еще раньше Н. С. Лелявского указывал на ошибочность представления движения воды параллельноструйным. Однако в своем исследовании механизма речного русла Лохтин не останавливается на вопросе о внутренних течениях, а прежде всего устанавливает основные элементы, определяющие характер всякой реки (многоводность, уклон и степень размываемости ложа). Он впервые вводит деление рек на устойчивые и неустойчивые и показывает, что для устойчивых рек характерным является правильное чередование плесов и перекатов. Далее он устанавливает, что во время высоких вод уклон водной поверхности больше на плесах, а во время низких — на перекатах. Это обстоятельство и определяет характер работы потока: во время высоких вод происходит очищение плесов от наносных отложений и наращение высоты перекатов, а во время низких вод картина меняется на обратную.

В. М. Лохтин в 1884 г. впервые определяет место гидрологии в системе наук, подчеркивая ее инженерный характер.

Значительный вклад в разработку теории русловых процессов внесли русские инженеры того времени — Ф. Г. Зброжек, В. Е. Тимонов, В. Г. Клейбер, В. А. Макаров и др.

Н. С. Лелявский, изучавший внутренние течения в реках, не представлял их в виде упорядоченных циркуляционных течений, по крайней мере в своих более поздних исследованиях. Вопрос о поперечной циркуляции на изгибе потока был рассмотрен в 1879 г. французским инженером М. П. Дюбуа, объяснившим ее действием центробежной силы. Гидродинамический анализ явления был дан сначала французским гидравликом В. Буссинеском, а позже русскими учеными А. Я. Миловичем и Н. Е. Жуковским. Немецкий ученый М. Меллер впервые указал на циркуляцию двухвинтового характера в прямолинейном потоке; он же и русский гидротехник В. Г. Клейбер высказали мысль о возможности возбуждения в потоке соответствующей установкой щитов искусственной поперечной циркуляции.

История учения о русловых процессах, прослеженная на протяжении длительного периода, показывает, что это учение возникло и обогащалось новыми данными и обобщениями прежде всего на базе гидротехнической практики и гидравлического эксперимента. В его развитие внесли свой вклад инженеры и ученые многих стран, при этом русской науке принадлежит весьма значительная доля участия как в разработке математически строгих основ движения жидкости, так и в создании общих теорий формирования речного русла.

Рассмотрение истории водных исследований и развития гидрологических знаний в последней четверти XIX в. показывает, что в этот период закладываются основы гидрологии суши, происходит формирование ее как самостоятельной отрасли знания.

Глава VI

ВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ ГИДРОЛОГИИ В НАЧАЛЕ XX в. (до 1917 г.)

1. Исследования до 1910 г.

Оживление с 1904 г. водных исследований в ведомстве путей сообщения.— Рост сети водомерных постов.— Совершенствование методов гидрометрических работ.— Возникновение проблемы «белого угля».— Опытные и теоретические исследования ледовых явлений и максимального стока рек.— Итоги инженерных исследований рек, проведенных ведомством путей сообщения.— Сужение водных исследований в ведомстве земледелия и государственных имуществ.— Создание Гидрологического комитета; ограниченность его функций.— Постоянная водомерная комиссия при Академии наук; изучение половодья 1908 г.

Работы по описанию и изучению рек, начатые в 1875 г. Навигационно-описной комиссией, закончившей свою деятельность в 1884 г., продолжались и в последующее время. Исследования Навигационно-описной комиссии проводились в соответствии с определенным планом, последующие же работы, вплоть до 1910 г., не имели планомерного характера. Изыскания на реках производились по мере возникновения конкретных потребностей судоходства. Так, например, в 1896—1901 гг. под руководством И. В. Бушмакина производились обширные исследования для устройства дополнительного водоснабжения Верхней Волги. В 1897—1900 гг. были проведены изыскания на Северном Донце в связи с проектом его шлюзования как важной пути для транспортировки донецкого угля. В 1900—1901 гг. небольшие изыскания производились на Оке, между устьем Москвы и перекатом Каменка с целью получения данных для составления проекта улучшения этого участка. С 1902 г. работала под руководством Е. Л. Кенига партия на реках Эмбахе, Великой и Нарове в связи с проектом Чудско-Балтийского водного сообщения.

Объем изысканий на реках после окончания работ Навигационно-описной комиссии до конца XIX в. был незначительным.

Некоторое оживление в исследовании рек относится лишь к началу нового столетия. В это время заметно усилилась изыскательская деятельность ряда округов путей сообщения.

Вместе с тем Управлением водных путей стали вновь создаваться описные партии¹. Так, с 1904 г. начали работать партии по изысканиям на Неве, Оке, Северном Донце, на притоках Северного Донца и Дона; с 1906 г. — на Западной Двине, на Дону; с 1907 г. — на Чуне и Чулыме; с 1908 г. работала партия для исследования Ухты и сообщения ее с Северной Двиной и Камой. Особое внимание было обращено на мало изученные и вовсе неизученные реки Сибири и Дальнего Востока. С 1907 г. работали Енисейская, Амурская, Селенгинская, Зейская описные партии. В работе этих партий принимали участие известные русские гидрографы Н. П. Пузыревский, В. М. Родевич, А. И. Фидман, Е. В. Близвяк, О. О. Тейхман, Е. Г. Иогансон и др.

Большие работы по исследованию дальневосточных рек с начала нового столетия провело Управление водных путей Амурского бассейна.

Продолжала расти, хотя и крайне медленно, сеть водомерных постов на реках и озерах. Всего в ведомстве путей сообщения к 1 января 1903 г. на внутренних водных путях Европейской и Азиатской России действовало 527 постоянных водомерных постов, в том числе 265 постов I разряда и 262 поста II разряда. В 1904 г. на водпостах в Тетюшах и близ Васильевского переката были установлены автоматические регистраторы уровней — лимниграфы.

Изучение стока рек в 1901—1910 гг. по-прежнему было развито слабо, стационарные наблюдения велись всего на нескольких гидрометрических станциях. По данным В. М. Родевича², эти станции находились: на Волге — у Верхневолжского бейшлота, в Ярославле, Вязовых, Тетюшах, Дубовке (у Царицына); на Суне, Неве, Мсте; на Днепре — в Лодманской Каменке; на Шилке — у Сретенска; на Амуре — у Благовещенска; на Зее, Туре, Тоболе; на Енисее — у Большого порога, Красноярска и возле устья Ангары. На Оке, Северном Донце, Дону, Шекене и некоторых других реках расходы определялись в связи с проектами гидротехнических работ на них.

Обработка результатов семилетних наблюдений (1905—1911) на Ярославской станции дана в опубликованной в 1913 г. небольшой, но ценной по содержанию статье Н. Н. Соколова «Водонос-

¹ Междуведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водяных сообщений в России. Сведения о занятиях комиссии в период времени с сентября 1909 по август 1910 года. СПб., 1910.

² В. М. Родевич. Обзор произведенных до 1929 г. исследований рек России. «Известия Российского гидрологического института», 1923, № 5.



Вязовская гидрометрическая станция

ность Волги у г. Ярославля по данным Ярославской гидрометрической станции».

На этой станции в 1905—1912 гг. было определено 346 расходов при различных уровнях воды. Наблюдения показали, что расходы воды для одного и того же уровня при спаде воды процентов на шесть меньше, чем при подъеме, что объясняется тем, что при подъеме уровня уклон, а значит и скорость, бывают больше, чем при спаде. Было также установлено, что при соответственных горизонтах зимние расходы значительно меньше летних. Причем оказалось, что отношение летних расходов к зимним при одинаковых уровнях при подъеме равно от 1,5 до 2, а при спаде от 1,5 до 3,5. Сравнивая данные о стоке Волги с данными об осадках в ее бассейне до Ярославля, Н. Н. Соколов вычислил коэффициенты стока в весенние, летние и зимние месяцы.

Опыт гидрометрических работ на Вязовской станции в 1903—1904 гг. явился основанием для доклада руководившего ею в те годы Н. Н. Жуковского «О методах измерения скоростей и расходов воды в больших открытых руслах», который он сделал XI съезду русских деятелей по водным путям в 1909 г. В своем докладе Жуковский, критически разбирая методы определения расходов, рекомендует пользоваться как наиболее рациональным предложенным в 1850 г. Тревиранусом и разработанным на практике в 70-х годах известным немецким гидрометром Гарла-хером интеграционным методом, при котором средняя скорость

на вертикали измеряется в один прием путем непрерывного передвижения вертушки по вертикали.

В этом докладе Н. Н. Жуковский предложил известный в гидрометрии метод выбора рабочего гидрометрического створа. Он подчеркнул также необходимость развития проводившихся в свое время Леляевским работ по исследованию направлений речных струй. «Явления, подлежащие здесь изучению,— говорил он,— таковы, что требование многочисленности наблюдений, систематически производимых в разнообразных условиях и непременно связанных с наблюдениями других важнейших относящихся к ним факторов должно быть поставлено на первое место»³. Выше нам уже приходилось отмечать, что, к сожалению, работы по изучению внутренних течений в реках в дореволюционные годы после Леляевского почти не проводились.

Ценным обобщением опыта и результатов гидрометрических наблюдений была вышедшая в 1912 г. монография А. В. Шафаловича «Описание гидрометрических работ при исследовании р. Зее в 1907—1909 гг. и рек Туры и Тобола в 1910 г.». В этой книге были освещены гидрометрические наблюдения, проводившиеся на р. Зее В. И. Поповым и Н. Н. Соколовым и на реках Туре и Тоболе М. М. Мусселиусом. Измерение скоростей производилось как поплавками и гидрометрическими шестами, так и вертушкой. Опыт этих работ показал, что обыкновенными поплавками можно производить достаточно точные измерения скоростей течения в условиях, когда применение других приборов становится невозможным. Несмотря на свою кратковременность, наблюдения на Зее, Туре и Тоболе позволили внести немало улучшений в методику гидрометрических работ.

Для суждения о продолжительности измерения вертушкой скоростей в той или иной точке вертикали Н. Н. Соколовым в 1909 г. и М. М. Мусселиусом в 1910 г. производились специальные измерения пульсации скоростей. Наблюдения Мусселиуса на Туре и Тоболе показали, что при двухпроцентной точности измерение скорости на 0,2 глубины должно продолжаться 2 минуты, а на 0,8 глубины — 8 минут. Участниками гидрометрических работ на Зее, Туре и Тоболе были внесены ценные новшества в гидрометрические приборы. Так, в 1909 г. впервые был применен используемый и в настоящее время измеритель уровней Н. Н. Соколова.

Ценность рассматриваемой работы состояла в том, что по существу она представляла курс гидрометрии, обогащенный отечественным опытом и содержащий критическую оценку опыта зарубежных исследователей.

³ Н. Н. Жуковский. О методах измерения скоростей и расходов воды в больших открытых руслах. СПб., 1909, стр. 51.

В первые годы XX в. начинает проявляться интерес к использованию рек как источников электрической энергии («белый уголь»). До того времени утилизация гидравлической силы с целью выработки электроэнергии была развита в России крайне слабо. Имелось всего около десятка небольших гидроэлектростанций.

В 1902 г. было образовано междудомственное совещание для рассмотрения вопросов, связанных с утилизацией водной энергии. В том же году Министерство путей сообщения командировало за границу инженера С. П. Максимова для ознакомления с существующими там гидроэлектростанциями. В вышедшей в 1905 г. книге «К вопросу о гидроэлектрических установках» С. П. Максимов впервые ставит на обсуждение назревшие вопросы использования энергии рек и дает первую сводку примерных сведений о гидравлических силах 24 рек Европейской России.

С 1904 г. начались первые исследования гидравлической мощности рек, прежде всего в Закавказье (Г. О. Графтио, П. П. Дмитренко). Исследования были произведены также на р. Вытегре, на порожиистой части Западной Двины. В 1905 г. Е. Л. Кениг и И. А. Живиллов предложили проект утилизации водной энергии Нарвского водопада. Интересно отметить, что этот проект являлся частью общего разработанного указанными инженерами проекта непрерывного Псково-Юрьево-Нарвского водного пути (Чудско-Балтийского водного сообщения), в котором впервые в России предусматривалось искусственное регулирование стока Нарвы водами большого оз. Чудского, из которого река вытекает.

По проекту Е. Л. Кенига, имелось в виду «такое искусственное распределение в течение года расхода воды из Чудского озера по р. Нарве, которое наилучшим образом удовлетворяло бы потребностям судоходства, промышленной утилизации гидравлической силы и нуждам сельского хозяйства (борьба с подтоплением прибрежных земель. — *И. Ф.*) и вместе с тем не причиняло бы напрасного вреда интересам рыбоводства и частных лиц»⁴. Следовательно, рассматриваемый проект явился одним из первых проектов комплексного подхода к решению водохозяйственной проблемы. Заметим, что этот проект, как и многие другие проекты дореволюционного времени, осуществлен не был.

В рассматриваемое десятилетие с деятельностью ведомства путей сообщения связаны исследования также по теоретическим

⁴ Е. Л. Кениг и И. А. Живиллов. О проекте непрерывного Юрьево-Нарвского водного пути (Чудско-Балтийского водного сообщения) в связи с вопросом о рациональном водном хозяйстве в Чудском бассейне. СПб., 1909, стр. 16.

вопросам гидрологии, и в первую очередь опытные и теоретические исследования по ледовому режиму и максимальному стоку рек. Исследования по этим вопросам будут освещены в следующих разделах.

Важным делом, начатым в 1902 г. Управлением водных путей, было издание новой серии трудов по гидрографии и гидрологии рек под общим названием «Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий». Всего в 1902—1917 гг. вышло 73 выпуска этой ценной серии.

Для суждения о степени исследованности рек и озер в качестве путей сообщения до того, как эти работы вновь получили с 1910 г. некоторую планомерность, можно привести следующие данные⁵. За 1874—1908 гг. было исследовано: в бассейне Каспийского моря — подробно рек 13 525 верст, озер 1182 кв. версты, рекогносцировочно рек 3536 верст; в бассейне Черного и Азовского морей — подробно рек 12 053 версты, озер 63 кв. версты, рекогносцировочно рек 490 верст; в бассейне Балтийского моря — подробно рек 5126 верст, озер 3251 кв. верста, рекогносцировочно рек 1008 верст, озер 6911 кв. верст; в бассейне Северного Ледовитого океана и Белого моря — подробно рек 11 250 верст, рекогносцировочно 7324 версты; на водоразделах — подробно рек 5027 верст, озер 14 619 кв. верст, рекогносцировочно 1604 версты, озер 22 281 кв. верста. Добавим еще сюда реки амурского бассейна, исследованные до 1909 г. на протяжении: подробно 3671 версты, рекогносцировочно около 3000 верст. Таким образом, общее протяжение рек, исследованных к 1909 г. подробно или рекогносцировочно, равнялось примерно 67 600 верстам. Если это число отнести к числу протяжения судоходных и сплавных рек, которых в Европейской России, по данным «Перечня» 1907 г., считалось 168 278 верст и в Азиатской России, по данным «Перечня» 1911 г., 94 193 версты, а всего, следовательно, около 262 500 верст, то окажется, что к началу второго десятилетия XX в. инженерными исследованиями было охвачено всего около $\frac{1}{4}$ общего протяжения сплавных и судоходных рек России, и даже несколько меньше, так как в число исследований рек в некоторых случаях вошли также вторные изыскания.

Водные исследования ведомства земледелия и государственных имуществ с упразднением в 1902 г. экспедиций и распределением гидротехнического персонала (36 инженеров и техников на всю Европейскую Россию) по нескольким управлениям земледелия и государственных имуществ почти вовсе прекратились. Под угрозой ликвидации долгое время находился и сам

⁵ Междуведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водных сообщений в России. Сведения о занятиях Комиссии в период времени с сентября 1909 года. СПб., 1910, стр. 78.

Отдел земельных улучшений, руководивший мелиоративным делом в стране.

Положение мелиорации в рассматриваемое время самим Отделом земельных улучшений представлялось следующим образом: «Если на окраинах в производстве работ замечались еще признаки некоторой системы, часто, впрочем, в корне нарушавшейся недостатком средств, то в Европейской России... утратились не только план действий, но и возможность производства сколько-нибудь крупных работ; вся деятельность велась к удовлетворению не терпящих отлагательства потребностей»⁶.

Из работ этого периода можно указать лишь на проведенные в 1901—1903 гг. изыскания для составления проекта регулирования Терека с целью борьбы с периодически повторяющимися наводнениями (экспедиция М. Ф. Рытеля); на изыскательские работы Инспекции вод на Кавказе, начатые в 1900 г.; на предложавшиеся небольшие работы в Барабинской степи.

Со второй половины 1907 г. силы гидротехников были привлечены к водным изысканиям в целях увеличения земельного фонда в связи с проведением столыпинской земельной реформы. Эти изыскания проводились в 29 губерниях Европейской России на площади свыше полумиллиона десятин. Для обобщения результатов выполненных к концу 1908 г. работ и накопившегося опыта в декабре этого года был проведен первый съезд инженеров-гидротехников Отдела земельных улучшений⁷.

Кроме отчетов о проведенных изысканиях, съезду были представлены три доклада, из которых два имели определенный гидрологический интерес. Это — доклад Е. В. Оппокова «Основания расчета осушительных каналов» и доклад Р. П. Спарро «Программа метеорологических и гидрометрических наблюдений на болотах и в связи с ними наблюдений над ростом болот и леса на них».

Следует указать на издание в эти годы Отделом земельных улучшений сочинений по гидрологии, среди которых видное место принадлежит крупным трудам Е. В. Оппокова, посвященным изучению режима стока. На этих трудах мы остановимся ниже, при освещении истории учения о стоке.

Выше указывалось, что в 1895 г. руководителями Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России был поставлен вопрос об организации центрального гидрологического учреждения.

В 1903 г. это предложение, наконец, получило осуществление: в марте 1903 г. правительством было принято решение о создании в составе Министерства земледелия и государственных

⁶ Отдел земельных улучшений в 1909—1913 гг. Пг., 1914, стр. 11.

⁷ «Труды Первого съезда гидротехников отдела земельных улучшений». СПб., 1909.

имущества Гидрологического комитета. По закону на Гидрологический комитет возлагалось выполнение следующих функций: «1) обсуждение мер, касающихся сбережения, умножения и упорядочения состояния вод, и проектов соответствующих законоположений; 2) рассмотрение данных, могущих послужить к разработке общего водного закона; 3) рассмотрение вопросов, касающихся распоряжения водными средствами со стороны частных лиц; 4) обсуждение с гидрологической и гидротехнической стороны спорных вопросов по водной части, если в них затрагиваются интересы казенного, городского или частного землевладения; 5) рассмотрение спорных вопросов, могущих возникнуть при применении закона о проводе оросительных и осушительных каналов через чужие владения»⁸.

Комитет состоял из председателя, представителей ряда министерств, Академии наук, специалистов по гидротехнике, геологии, сельскому хозяйству, лесоводству и юристов, знакомых с вопросами водного права. Председателем Гидрологического комитета был назначен крупный специалист водного дела М. Н. Герсевич. Своих штатов комитет не имел, делопроизводство его вел Отдел земельных улучшений. Несмотря на ведомственный характер по составу, Гидрологический комитет фактически являлся консультативным органом Отдела земельных улучшений. За четыре года первого периода своей деятельности Комитет провел четыре заседания и рассмотрел всего три дела: о выработке законопроекта о пользовании проточными водами в Крыму; о распространении на Прибалтийский край закона 20 мая 1902 г. об устройстве канав и других водопроводных сооружений на чужих землях для осушительных, оросительных и обводнительных целей; о влиянии вырубки лесов и осушении болот в районе Бологое — Седлецкой железной дороги на судоходные условия Волги и Двины.

В феврале 1907 г. к функциям Гидрологического комитета было добавлено: «а) рассмотрение и предварительное обсуждение проектов, предположений и смет оросительных, обводнительных и осушительных работ Главного управления землеустройства и земледелия; б) рассмотрение программы ежегодных работ и ежегодных отчетов о произведенных Отделом земельных улучшений гидротехнических работах; в) обсуждение вопросов о техническом содействии населению в деле земельных улучшений и г) издание руководств и технических пособий о водном хозяйстве в России»⁹.

Состав Комитета был дополнен представителями ряда других ведомств и Русского географического общества. В начале фев-

⁸ «Водное дело», 1910, № 4, стр. 1.

⁹ Журнал заседаний Гидрологического комитета. «Водное дело», 1909, № 1.

раля 1907 г. председателем Комитета был назначен С. Н. Никитин. В составе Комитета было создано три комиссии: 1) по крупным гидротехническим сооружениям с оросительной целью; 2) по вопросам общих гидрологических и гидрогеологических исследований и связанным с этими вопросами работам по обводнению; 3) по гидрологическому исследованию рек и работам, связанным с упорядочением их течения и состояния речных долин. Вторая и третья комиссии возглавлялись С. Н. Никитиным. Но Комитет по-прежнему не располагал собственными штатами и из-за отсутствия средств не мог печатать своих трудов.

Много говорилось о необходимости коренного преобразования характера деятельности Гидрологического комитета. При обсуждении в 1907 г. вопроса о реорганизации Комитета и проекта нового положения о нем С. Н. Никитин составил обширную записку «Об исследовании водоносности России и разработке научных, технических и юридических вопросов, касающихся сохранения, упорядочения и умножения водных запасов страны», в которой изложил задачи научного гидрологического исследования России, которые должны выполняться специальным гидрологическим учреждением. Такое учреждение, сосредоточив у себя все имеющиеся сведения по гидрологии страны, явилось бы наиболее компетентным органом для обсуждения проектов законоположений и всех мероприятий, связанных с использованием вод. «Однако, — писал С. Н. Никитин, — на существование такого типа и объема гидрологического учреждения едва ли можно надеяться, по крайней мере в ближайшем будущем»¹⁰.

Большинство членов Комитета высказалось за то, что «в основу деятельности Комитета должна быть положена организация систематического исследования вод и водоносности страны и составление общего плана этого исследования, из которого вытекают бы и получали правильное развитие все отдельные специальные дела и задачи практического характера». Однако, ввиду возражений представителей Министерства финансов и Государственного контроля, коренное преобразование деятельности Гидрологического комитета относилось на неопределенное будущее.

Характер деятельности Гидрологического комитета подвергся серьезной критике на состоявшемся в конце 1911 — начале 1912 г. Втором всероссийском съезде деятелей по прикладной геологии и разведочному бурению. Этот съезд признал, что деятельность Гидрологического комитета «совершенно не отвечает требованиям времени и насущным нуждам нашей обширной страны с ее громадною неотложною нуждой в правильной по-

¹⁰ Журнал заседаний Гидрологического комитета. «Водное дело», 1909, № 1.

становке водного хозяйства»¹¹. Съезд высказался за создание гидрологического учреждения по типу Геологического комитета. Однако существенных изменений в направлении деятельности Гидрологического комитета до конца его существования (в мае 1917 г. он провел последнее заседание) внесено не было. С января 1910 г., после смерти С. Н. Никитина (ноябрь 1909 г.), Комитет возглавлял В. Е. Тимонов. Из сказанного о деятельности Гидрологического комитета следует, что его создание не явилось таким событием в области гидрологии, каким было для геологии учреждение в 1882 г. Геологического комитета, так как последний был наделен правом производства самостоятельных исследований, а Гидрологический комитет такого права не имел.

Однако несомненно, что Гидрологический комитет, объединявший в своем составе лучшие силы гидрологов¹², сыграл, хотя и незначительную, но все же положительную роль. На его заседаниях обсуждалось немало вопросов, имевших, кроме практического значения, большой научный интерес, особенно в 1907—1909 гг., когда во главе Комитета стоял С. Н. Никитин. Опыт работы Комитета этого периода позволил ему поставить на состоявшемся в начале 1909 г. Втором метеорологическом съезде доклады по таким важным вопросам¹³: 1) регистрация паводков и, в частности, наводнений в русских реках и о факторах, влияющих на высоту и ход подъема вод (С. Н. Никитин); 2) современное положение вопроса об образовании почвенной росы в связи с питанием растительности в пустынно-степных областях и образованием грунтовых вод (С. Н. Никитин); 3) организация наблюдений за ливнями в селевых бассейнах горных рек Туркестана (С. Ю. Раунер); 4) организация метеорологических наблюдений на водомерных постах в Туркестане, снабженных самопишущими приборами — лимниграфами (С. Ю. Раунер).

В 1902 г. при Академии наук была создана постоянная водомерная комиссия. Комиссия представляла собой междуведомственную организацию с представительством от министерств военного, морского, путей сообщения, земледелия и государственных имуществ, а также от Русского географического общества и Главной физической обсерватории. Председателем комиссии первые два года был академик О. А. Баклунд, а затем академик М. А. Рыкачев. Перед комиссией была поставлена задача

¹¹ «Труды Второго Всероссийского съезда деятелей по прикладной геологии и разведочному бурению 1911—1912 гг.», вып. III, Пг., 1916.

¹² В разные годы в состав Гидрологического комитета, кроме названных председателей его, входили такие известные русские ученые и видные деятели водного дела, как В. М. Лохтин, И. И. Жилинской, А. П. Карпинский, Ф. Н. Чернышев, Ю. М. Шокальский, Г. Н. Высоцкий, В. Г. Клейбер, П. И. Броунов, Н. П. Пузыревский, В. М. Родевич и др.

¹³ «Водное дело», 1909, № 5.

координации работ различных ведомств по изучению водного режима рек, озер и морей и составление соответствующих инструкций.

Комиссия за время своей деятельности до перехода в 1920 г. в Гидрологический институт выработала в 1904 г. инструкции для футшточных наблюдений, в основу которой было положено «Руководство для ведения наблюдения на гидрологических станциях» Главного гидрографического управления Морского министерства. Затем, Водомерная комиссия много внимания уделила изучению половодья 1908 г. Весной этого года в результате совпадения значительных дождевых осадков с замоздавшим, а затем очень дружным снеготаянием в Европейской части России произошли катастрофические половодья в бассейнах Днепра, Оки, Дона и частично Волги. Д. Н. Анучин обратился тогда к М. А. Рыкачеву с предложением разработать и разослать анкету для сбора сведений о половодье 1908 г. Водомерной комиссией был образован особый комитет по изучению половодья 1908 г. под председательством С. Н. Никитина.

Летом 1908 г. было разослано различным учреждениям и отдельным лицам до 10 тыс. экземпляров анкеты¹⁴. Было получено более полутора тысяч ответов, содержащих весьма ценные

¹⁴ Анкета имела следующие вопросы («Водное дело», 1908, № 10—11):

«1) В городах и других населенных пунктах: до каких пределов (улиц, зданий и сооружений) доходила вода? Если имеется план, просят закрасить границы разлива на плане и приложить его к ответу. Какой высоты достиг уровень воды над нулем водомерной рейки или над уровнем самой низкой воды, когда-либо наблюдавшимся, или еще лучше, какой высоты относительно известного наблюдателю репера? (Желательно описание вида и места положения репера).

2) В уездах: какие села, деревни, погосты, усадьбы подверглись наводнению и какой рекою? Для определения положения небольших селений должно быть указано, какого они уезда и в каком они находятся расстоянии и по какому направлению от ближайшего города или большого села.

3) Когда началось наводнение? Какого числа (по старому стилю) и в какой день недели (днем или ночью?) уровень достиг наибольшей высоты? Как долго вода держалась на высоком уровне? Когда вода вошла в берега? Не во время ли ледохода достигла вода наибольшей высоты? Не оказывали ли влияние на уровень воды заборы?

4) Была ли почва ко времени начала разлива мерзлая или талая (если это только может быть точно установлено)? На талую ли почву выпал снег в начале зимы или на мерзлую? Не оттаивала ли почва в начале зимы?

5) Не вызвало ли наводнение перемещения русла реки, оползней по ее берегам, значительного размыва грунта, отложения наносов и т. п. Если да, то в каких размерах и в каком именно пункте?

6) Нет ли достоверных, записанных сведений о прежних больших разливах реки? Если есть, то когда такой разлив наблюдался. Какова его высота относительно разлива нынешнего года?

7) Если имеются фотографические снимки с мест, постигнутых наводнением, просят выслать таковые с указанием места и времени фотографирования».

сведения о ходе весенних явлений, вскрытия и разлива рек, а отчасти и о новых летних местных паводках. Обработкой этих фтветов занимались Б. Л. Гржегоржевский, Э. Ю. Берг и В. Н. Лебедев.

Оснвные сведения о половодье 1908 г. и предшествовавшем ему снежном покрове и состоянии почвы опубликованы в двух выпусках «Исследования весеннего половодья 1908 г.», вышедших в 1915 и 1923 гг.

Рассылка анкеты продолжалась и в последующие годы. С 1914 г. рассылка и обработка анкеты была передана Отделу земельных улучшений.

Водомерная комиссия, временно возглавлявшаяся после смерти М. А. Рыкачева (1919) А. П. Карпинским, 31 марта 1920 г. провела последнее заседание, на котором было постановлено передать функции комиссии Гидрологическому институту.

2. Изучение ледовых явлений

Практическая важность изучения ледовых явлений.— Проблема донного льда.— Теория образования донного льда Ф. Араго, Л. Гей-Люссака, Г. Барнеса.— Изучение донного льдообразования на реках Сибири и Европейской России.— Теория В. М. Логгина.— Изучение зимнего режима рек Н. И. Максимовичем и Е. В. Близняком.— Лабораторное изучение проблемы донного льда.— Теория В. Я. Альтберга.

Изучение ледовых явлений на реках имеет очень большое значение. Это особенно относится к рекам нашей страны, покрывающимся льдом на долгие месяцы зимнего периода. Продолжительность ледостава колеблется для наших рек от нуля на юге до 10 месяцев и более на крайнем севере. Знание ледового режима рек необходимо для судоходства, для проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, а также для изучения деформаций русла, вызываемых ледовыми явлениями.

Естественно, что ледовый режим рек уже давно привлекал к себе внимание метеорологов и гидрологов. В интересах судоходства прежде всего необходимо было знать сроки вскрытия и замерзания рек. Как уже указывалось, в 1845 г. К. С. Веселовский сделал первую обработку сведений по этому вопросу, а в 1886 г. М. А. Рыкачев опубликовал свой большой труд «Вскрытия и замерзания вод в Российской империи». Но кроме статистического изучения ледового режима, научная мысль стремилась также познать самую сущность процесса льдообразования. Не столь сложен этот процесс в стоячих водоемах, но изучение его в реках встретилось с большими трудностями. И здесь прежде всего возбудило интерес сложное явление образования в период ледостава так называемого донного льда.

По имеющимся в литературе данным первым о донном льде упоминает в своем труде «The Naturel History of Oxfordshire», опубликованном в 1705 г. в Оксфорде, англичанин Плот, который, констатируя факт образования донного льда, замечает, что это явление давно известно рыбакам, мельникам и морякам. Англичанин Хэлс наблюдениями на Темзе в 1730—1731 гг. кладет начало изучения явления донного льдообразования, после чего этому вопросу уделяют внимание многие натуралисты и ученые стран Западной Европы и США. Однако большинство наблюдателей лишь подтверждают само явление образования донного льда и указывают на его широкое распространение, подчиняющееся климатическим условиям, но не освещают достаточно физической сущности явления.

Первые теории образования донного льда были выдвинуты французскими учеными Ф. Араго (1833) и Л. Гей-Люссаком (1834). Согласно этим теориям, причиной возникновения донного льда является образование кристаллов льда на поверхности воды.

Гей-Люссак, не допускавший возможности переохлаждения текущей воды, полагал, что «наблюдаемый на дне лед образуется за счет носящихся в морозное время на поверхности воды множества мелких льдинок, у которых сторона, обращенная к воздуху, охлаждена ниже нуля, и которые, попадая в массу воды самим водотечением, примерзают своей охлажденной стороной к встреченным на дне предметам»¹⁵. Однако рядом ученых было указано на то, что, во-первых, ледяные иглы при погружении не могут долго сохранять неравномерность теплового режима, они должны принять среднюю температуру всей массы воды, т. е. растаять (раз не допускается переохлаждение воды). Во-вторых, впоследствии было доказано, что переохлаждение речной воды возможно и оно происходит в действительности.

Другой теорией образования донного льда явилась так называемая радиационная теория. Суть ее состоит в том, что донный лед образуется благодаря охлаждению ложа реки, в результате излучения тепла в воздух сквозь водную толщу. Последовательным сторонником и настойчивым пропагандистом этой теории был крупный американский исследователь ледовых явлений Г. Т. Барнес, автор опубликованного в Нью-Йорке в 1906 г. обширного труда «Ice formation with special reference to Anchorage and frasil», в котором изложены ценные исследования автора, обратившего особое внимание на выяснение физической природы явления образования донного льда и разработавшего электрический способ измерения температуры.

¹⁵ В. М. Л о х т и н. Ледяной нанос и зимние заторы на р. Неве. СПб., 1906, стр. 9.

Барнесом была предложена простая и практически полезная формула для вычисления толщины поверхностного льда, образующегося за определенное время (для рек с медленным течением и при отсутствии на ледяном покрове снега):

$$t = \frac{LSE}{K\theta} \left(1 + \frac{E}{2}\right),$$

где t — время в сек, необходимое для образования льда толщиной E см, L — скрытая теплота плавления льда, S — плотность льда, K — теплопроводность льда, θ — разность температур нижней поверхности ледяного покрова (0°) и воздуха.

Барнесу принадлежат крупные научные достижения в исследовании проблемы речного льда, но его теория образования донного льда оказалась ошибочной. Ее несостоятельность доказывается хотя бы уже тем, что ею игнорируется факт большой лучепоглотительной способности воды, а также и то, что в стоячих водоемах (озерах) донный лед образуется редко.

К числу серьезных работ иностранных авторов начала XX в. относится также изданная в 1906 г. в Швейцарии работа Г. Люшера «Das Grundeis und dazuerige Störungen in Wasserläuten und Wasserwerken», в которой автор излагает результаты своих наблюдений над донным льдом на р. Нарове у г. Нарвы. Произведенные Люшером измерения температуры дна установили, что она положительна и во время образования донного льда, т. е. фактически показали ошибочность гипотезы охлаждения ложа реки путем лучеиспускания.

После краткого изложения исследований и теорий образования донного льда иностранных авторов осветим развитие этого вопроса в нашей стране.

В России указания на образование донного льда встречаются уже в конце XVIII в., например, у участников экспедиции Палласа, заметивших (Георги, Сиверс) всплывание донного льда на оз. Байкале, на Ангаре и других реках Сибири.

В 1817 г. Н. Семивский дает очень интересное описание процесса замерзания Ангары: «Иногда не видно ни одной на поверхности ее льдины, как вдруг всплывающих из-под воды появляются их множество, которые, приставая к прочим льдинам, соединяются и одна к другой примерзают, от чего делаются по разным местам как плотины, затопляющие все по берегам ее лежащие луга и долины, также низкие, набережные селения и часть Иркутска; через что самое дно Ангары ежегодно приметным образом углубляется»¹⁶.

¹⁶ Н. Семивский. Новейшие повествования о Восточной Сибири. СПб., 1817, примечание № 6.

М. Гендештром в своем описании замерзания Ангары в 20-х годах XIX в., подтверждая образование в ней донного льда, высказывает мнение, что это происходит от переохлаждения берегов и дна рек¹⁷. Этому взгляда придерживается также Вейц, автор опубликованной в 1836 г. в «Горном журнале» первой в России статьи, посвященной вопросу о донном льде «О происхождении льда на дне некоторых рек».

Щукин, почти четверть века (1820—1844) производивший наблюдения над вскрытием и замерзанием Ангары и некоторых других рек Восточной Сибири, указывает на факт образования донного льда и объясняет это явление переохлаждением дна. При этом он пишет, что наружный холод проникает ко дну через камни, соединяющие дно с внешним воздухом¹⁸, и происходит переохлаждение.

Известный исследователь Сибири А. Ф. Миддендорф также считал, что образование донного льда в горных ручьях связано с пропикривением на дно сильного зимнего холода, где в результате большого излучения теплоты, вода, окружающая валуны, покрывает их кристаллическими пластинками, соединение которых и образует донный или грунтовый лед¹⁹.

Во второй половине XIX в. гипотеза образования донного льда в результате лучеиспускания разделялась и другими русскими исследователями, в частности Шварцем, производившим в 1855—1856 гг. обстоятельные наблюдения на Ангаре²⁰, В. А. Обручевым, считавшим, однако, невозможной передачу холода по валунам на дно реки²¹, Я. В. Стефановичем, изучавшим в 1895—1896 гг. ледовые явления на реках Лене, Бодайбо, Чае, Чуе и Чечуе²², а в начале XX в. Л. А. Ячевским²³ и Л. Л. Владимировым.

Наблюдения над донным льдом на реках Европейской России относятся к гораздо более позднему времени, нежели наблюдения в Сибири, — к самому концу XIX в., и непосредственно связаны с практическими нуждами судоходства и городского

¹⁷ М. Гендештром. Открытки о Сибири. СПб., 1830.

¹⁸ Щукин. Образование льда на дне реки Ангары и других рек Восточной Сибири. «Отечественные записки», 1848, т. 49, № 11.

¹⁹ А. Миддендорф. Путешествие на север и восток Сибири, ч. 1. СПб., 1862, стр. 428.

²⁰ Шварц. Образование льда на дне Сибирских рек вообще и Ангары в особенности. «Вестник Русского географического общества», 1858, ч. XXI.

²¹ В. А. Обручев. Наши сведения об образовании и свойствах ангарского и байкальского льда. «Известия Вост.-Сибирского отдела Русского географического общества», 1892, т. 22.

²² Я. В. Стефанович. К вопросу о донном льде. «Известия Вост.-Сибирского отдела Русского географического общества», 1898, т. 29.

²³ Л. А. Ячевский. К вопросу об образовании речного льда и его влияния на скульптуру берегов реки. СПб., 1904.

водоснабжения, тогда как в Сибири они возникли почти исключительно вследствие научного интереса.

Непосредственным поводом, побудившим обратить внимание на дошый лед в реках Европейской России, явились перебои в работе водопроводов в Петербурге и Варшаве. 25—26 ноября 1894 г. действие петербургского водопровода совершенно прекратилось. Осмотром было установлено, что причиной прекращения работы водопровода явилось образование на сетках водоприемных труб «ледяных шапок», закупоривших водопровод. Комиссия, созданная для выяснения этого случая, приписала образование закупорки случайным причинам, и в ее протоколах нет даже упоминания о донном льде²⁴.

Более внимательному изучению подверглась причина перебоев в действии варшавского водопровода. И. И. Словицкий, имевший большой опыт в наблюдениях за донным льдом, именно в нем видел причину нарушений в действии водопроводов. Результаты своих ценных исследований Словицкий изложил в 1895 г. в докладе второму водопроводному съезду «О явлениях, сопровождающих замерзание рек».

Явление донного льда привлекло к себе серьезный интерес в первые годы XX в. Причиной этого явились огромные ледяные зажоры на Неве, вызвавшие в 1902 и 1903 гг. высокие подъемы воды, в результате которых были затоплены мастерские Обуховского, Ижорского и других заводов. Стало очевидным, что эти зажоры связаны с явлением донного льда. Необходимо было выяснить также степень опасности вредной роли донного льда в связи с проектировавшейся прокладкой водопровода из Ладожского озера. Исследования невских зажоров были произведены в 1903—1904 гг. М. Ф. Ционглинским и в 1904—1905 гг. В. М. Лохтиным. Интерес к донному льду привлек также сделанный в 1904 г. на заседании Русского географического общества доклад Л. Л. Владимирова «Образование льда на дне рек», в котором он представил результаты своих многолетних (1889—1903) исследований донного льда на Свири и Камоне.

Исследования М. Ф. Ционглинского позволили ему утверждать, что

1) непременно условием образования донного льда является понижение температуры воды до 0°; при всех случаях наблюдаемых нами явлений образования донного льда термометр показывал несколько сотых градуса выше или ниже нуля, причем температура воздуха была —6° и ниже;

2) для образования донного льда требуется открытая, без донстава, поверхность воды;

²⁴ А. А. Кицинский. Донный лед, его роль и значение в водном деле. «Водное дело», 1907, № 4—5.

3) донный лед может образовываться как в ночное, так и в дневное время;

4) образование донного льда не зависит от степени облачности небосклона»²⁵.

Более подробного объяснения образования донного льда Ционглинский не дал. Владимиров, в общем соглашаясь с гипотезой Араго и Гей-Люссака, высказывал следующее объяснение образования донного льда: «...пузырьки морозного воздуха, в осеннее время увлекаясь течением реки на дно, замораживают вокруг себя тончайший слой воды, благодаря чему получают пустотелые шарики и трубочки, изменяемые в своей форме около дна напором течения, причем они могут смерзаться друг с другом и с дном совершенно на тех же основаниях, как Араго и Гей-Люссак гипотетически допускали возможность смерзания для ледяных игл»²⁶. Интересно, однако, замечание Владимирова, что, по его наблюдениям, «донный лед обволакивает камни, но не примерзает к ним»²⁷. Позже Л. Л. Владимиров признал гипотезу Барнеса. Он писал: «Существует положительная вероятность ожидать в некоторых, а может быть и во всех случаях первоначального нарастания рыхлого донного льда крайне быстрое, в течение нескольких часов, образование пленки плотного льда на дне реки от лучеиспускания сквозь воду в атмосферу теплоты от почвы дна и от других в воде предметов в ясную ночь при температуре воды около точки замерзания»²⁸.

В этой же работе он указывал на образование кристаллов льда в результате легкого переохлаждения всей массы воды, которые, «сталкиваясь на течении и смерзаясь между собою в разных неправильных положениях... находятся во всех слоях в форме «шуги» или «ледяного сала» (frazil-ice) и, примерзая к грунту, водорослям на дне и т. п., образуют губчатые массы рыхлого «зонного» льда (anchor-ice)»²⁹.

Географическое общество, заинтересовавшееся докладом Владимирова, тогда же организовало комиссию под председательством академика Ф. Н. Чернышева с участием М. А. Рыкачева, Л. Л. Владимирова, М. Ф. Ционглинского, Ю. М. Шокальского, Л. А. Ячевского и др. Комиссия разослала в 1904 г. 6145 анкет для выяснения географического распространения явления

²⁵ М. Ционглинский. О наблюдениях над замерзанием реки Невы и исследованиях заторов на ней. СПб., 1905, стр. 31.

²⁶ Л. Л. Владимиров. Образование льда на дне рек. СПб., 1904, стр. VI.

²⁷ Там же, стр. 44.

²⁸ Л. Л. Владимиров. Новые понятия о процессах замерзания рек и об образовании зимних заторов льда. СПб., 1907, стр. 72.

²⁹ Там же, стр. 70.

донного льда. Оказалось, что донный лед бывает везде, где реки замерзают.

Большой интерес представляют исследования, проведенные В. М. Лохтиным и освещенные им в работе «Ледяной нанос и зимние заторы на р. Неве». Своими наблюдениями В. М. Лохтин не обнаружил донного льда.

Но зато он, как и Владимирова, констатировал нахождение ледяных кристаллов или, по его терминологии, ледяного наноса во всей водной толще.

Вывод, к которому пришел Лохтин, гласит: «Итак, донного льда не существует. Частицы, из которых он состоит, образуются на открытых участках реки вследствие непосредственного прикосновения текучей воды с морозным воздухом»³⁰.

Затем эти частицы из-за «неспокойного, своеобразного» течения распространяются по всей толще потока. Таким образом, В. М. Лохтин соглашался с гипотезой Гей-Люссака, но вносил в нее серьезную поправку, именно ту, что примерзания кристаллов льда ко дну не существует, и поэтому считал «совершенно непущным» предположение Гей-Люссака об охлаждении ниже нуля поверхностей кристаллов, которыми они обращены к морозному воздуху.

Проблема донного льда, как это очевидно, имеет исключительно важное значение в эксплуатации речных сооружений. Но, чтобы бороться с донным льдом, надо хорошо знать условия и процесс его образования. Поскольку же общепринятой научно обоснованной теории донного льда не существовало, не были разработаны и надежные меры борьбы с опасными явлениями, связанными с донным льдом. После того, как осенью 1912 г. произошел очередной огромный зажор на Неве, ликвидированный взрывом, Инженерный совет Министерства путей сообщения принял решение о желательности производства лабораторных опытов в искусственных лотках «для выяснения различных условий образования донного льда и других явлений, связанных с заторами»³¹.

На XV съезде русских деятелей по водным путям в 1913 г. В. Е. Тимоновым был сделан доклад «Об организации систематического изучения ледяного покрова на наших реках и способов борьбы с вызываемыми льдом затруднениями в навигационной и береговой жизни», в котором он предлагал ввести в программу работ изыскательских партий изучение жизни рек «во

³⁰ В. М. Лохтин. Ледяной нанос и зимние заторы на р. Неве. СПб., 1906, стр. 30.

³¹ В. Е. Тимонов. Об организации систематического изучения ледяного покрова на наших реках и способов борьбы с вызываемыми льдом затруднениями в навигационной и береговой жизни. СПб., 1913, стр. 7.

время образования, существования и разрушения ледяного покрова» и поставил вопрос об организации лабораторных исследований образования донного льда.

Что касается ледяного покрова, то научно поставленных наблюдений за ним почти не было. Форстер, издавший в 1894 г. в Вене подробное исследование о термическом режиме рек Средней Европы, отметил тот факт, что впервые систематические наблюдения за температурой проточных вод в связи с температурой воздуха были произведены в Петербурге, где в 1734—1739 гг. Вайтбрехт каждый год с февраля по сентябрь по три раза в день измерял температуру воздуха и воды в Неве. На основании этих наблюдений, Вайтбрехт уже в то время пришел к заключению о зависимости температуры речной воды от температуры воздуха, от выпадающих в бассейне ливней, а также установил, что дневные колебания температуры текучей воды совершенно незначительны, независимо от глубин³². В Европе систематические термические наблюдения на реках начались более ста лет спустя. У нас же они не были организованы и в более позднее время. Можно указать лишь на отдельные случаи измерения температуры воды в реках. Так, зимой 1899 г. их производил Н. И. Максимович на Днепре у Киева. В 1911—1912 гг. ледовые явления по широкой программе, включавшей и термические измерения, изучались Е. В. Близняком на Енисее от Красноярска до Енисейска³³. Что касается продолжительности ледостава на русских реках, то сведения об этом по многим рекам, озерам и каналам Европейской России, полученные на основании обработки данных за двадцатилетний период (1883—1902), были опубликованы в 1914 г. в виде таблицы, в которой были приведены самые ранние, самые поздние и средние даты вскрытия и замерзания и средние продолжительности ледохода и навигации³⁴.

Начало лабораторного изучения образования донного льда относится у нас к 1915 г., когда после происшедшего в 1914 г. пятого случая выхода из строя Петроградского водопровода за основательное исследование проблемы донного льда взялась Главная физическая обсерватория. Руководителем организованных ею работ сначала короткое время был Л. А. Ячевский, а затем В. Я. Альтберг, который явился создателем новой теории

³² Н. И. Максимович. Условия образования ледяного покрова на наших реках. СПб., 1900, стр. 26.

³³ Е. В. Близняк. Р. Енисей от г. Красноярска до Енисейска, ч. II, Пг., 1916.

³⁴ Вскрытие, замерзание и продолжительность навигации на внутренних водных путях Европейской России в 1883—1902 гг. «Пути сообщения России», 1914, № XI.

образования донного льда. Исследования Альтерга проводились в течение многих лет, но уже после первого года работы он установил два важных фактора, необходимых для образования донного льда: движение воды и переохлаждение ее. Альтберг убедительно показал несостоятельность теории Барнеса. Он подверг также критике теорию Гей-Люссака и ее вариант, предложенный Лохтиным. Мы не будем описывать исследований В. Я. Альтберга, а приведем лишь общий вывод об условиях образования донного льда из его книги «Подводный лед»: «Основных факторов, определяющих процесс подводного ледообразования, имеются два: теплоотдача воды и турбулентное перемешивание ее, без каковых о подводном ледообразовании не может быть и речи.

Указанными двумя факторами обуславливается ряд других важных процессов и явлений, а именно:

- 1) занос холода в толщу потока;
- 2) приведение воды в переохлажденное состояние, без чего невозможно возникновение кристаллизации;
- 3) стимулирование (после создания переохлажденного состояния и при наличии кристалликов льда у уреза воды) кристаллизации внутри потока. Для этого имеются... все данные: наличие в воде центров, затравки, пылинок и переохлажденного состояния ее;
- 4) выделение, в связи с кристаллизацией, скрытой теплоты, почти равной по величине теплоотдаче и лишь слегка отстающей от последней, вследствие чего возникает необходимое переохлаждение;
- 5) отвод скрытой теплоты через толщу потока в морозный воздух, без чего продолжение кристаллизации невозможно»³⁵.

Таким образом, согласно теории В. Я. Альтберга, зарождение донного льда происходит не на поверхности, как по Гей-Люссаку и Лохтину, а в толще потока и на дне, но не в результате переохлаждения дна вследствие проникновения туда морозного воздуха (по Щукину, Миддендорфу и др.), или вследствие лучеиспускания (по Барнесу и др.), а в результате турбулентного перемешивания и теплоотдачи, ведущей к переохлаждению массы воды по всей толще потока.

Теория В. Я. Альтберга, окончательно сформулированная им уже в советское время (в 30-х годах), явилась крупным вкладом в решение сложной проблемы донного льда и была с интересом воспринята и достойно оценена также и зарубежными учеными.

³⁵ В. Я. Альтберг. Подводный лед. М.—Л., 1939, стр. 194.

3. Развитие учения о речном стоке

Научное и практическое значение проблемы стока.— Развитие представлений о круговороте воды в природе.— Круговорот воды и водный баланс земного шара по Э. Брихнеру.— Проблема стока отдельного речного бассейна.— Зависимость стока и коэффициента стока от осадков.— Цикличность в колебаниях климата и речного стока.— Уравнение водного баланса речного бассейна Пенка-Оппокова.— Формулы, выражающие сток в функции осадков.— Типы бассейнов по соотношению между осадками, испарением и стоком (по Э. М. Ольдекопу).— Факторы, влияющие на сток.— Дискуссионный вопрос о гидрологической роли лесов и болот.— Развитие методов расчета максимальных расходов.— Ливневые максимальные расходы.— Эмпирические нормы и формулы (Кестлина и др.); теоретические исследования (Ф. Г. Зброжека и др.).— Вопрос о причинах редукации максимального стока.— Максимальные расходы талых вод.— Исследования Н. Е. Долгова.

Учение о стоке рек, наряду с учением о русловых процессах, является одной из главнейших частей гидрологии рек — основного раздела гидрологии суши. Сток рек — наиболее важная величина, лежащая в основе всякого водохозяйственного проекта. Инженерными гидрологическими расчетами прежде всего выясняется вопрос о количествах воды, которые могут быть использованы в хозяйственных целях благодаря проектируемому гидротехническому сооружению. Следовательно, конечная цель учения о стоке, как и учения о русловых процессах, — удовлетворение запросов практики, потребностей водохозяйственного строительства, т. е. решение прикладных инженерных задач. Но сток представляет собой одну из стадий общего круговорота воды на земном шаре и поэтому выяснение генезиса стока происходило по мере развития представлений об указанном круговороте. Вместе с тем накапливались и количественные данные о стоке рек земного шара. Более поздним этапом в истории познания стока является исследование сложной проблемы стока отдельного речного бассейна — проблемы, представляющей исключительно большой практический интерес.

В предыдущих главах развитию представлений о круговороте воды в природе нами уделено достаточно много внимания. Как мы видели, интерес к разгадке круговорота воды нашел отражение еще в сочинениях многих писателей древности. Эту проблему пытались разрешить Фалес Милетский и Демокрит, Платон и Аристотель, Лукреций Кар и Марк Витрувий. Схема круговорота, разработанная Аристотелем, в общих чертах уже соответствовала действительности.

В XVI и XVII вв. французские ученые Б. Палисси и Э. Мариотт опытным путем доказали атмосферное происхождение подземных вод и ключей, питающих реки.

Правильные мысли о круговороте воды были высказаны М. В. Ломоносовым. Много ценных наблюдений, научно освещенных

щающих проблему круговорота воды, дали участники экспедиций 1768—1774 гг. П. С. Паллас, И. И. Лепехин, С. Г. Гмелин.

В XIX в. окончательно рушится средневековое заблуждение, будто реки берут начало из подземных каналов, вбирающих в себя воду из океана. Благодаря исследованиям многих ученых окончательно вырабатывается правильное представление о круговороте воды на земном шаре. Особенно выдающимся в этом отношении явился труд А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России» (1884), в котором он высказал основное положение научной гидрологии, что реки являются продуктом климата, т. е. что сток рек представляет собой результирующую величину осадков и испарения.

Итогом развития представлений о круговороте воды на земном шаре явилась схема круговорота, опубликованная в 1905 г. Брикнером в статье «Баланс круговорота воды на земле»³⁶.

В этой статье Брикнер писал: «Круговорот воды на земном шаре совершается двояко. С поверхности морей происходит испарение воды, пары сгущаются в атмосфере в облака и часть выпадают в виде осадков на море же, т. е. возвращаются в океан непосредственно. Это — малый круговорот воды. Но часть водяных паров переходит на сушу и выпадает только здесь на землю; поскольку эти осадки снова не испаряются, они поступают через реки в море, совершая таким образом большой круговорот воды». В балансе круговорота воды, составленном для среднего года, должны быть учтены следующие величины (в обозначениях Брикнера):

- годовое количество испарения с океанов и морей V_m ;
- годовое количество осадков над океанами и морями R_m ;
- годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с океанов на сушу, D_m ;
- годовое количество испарения с суши V_1 ;
- годовое количество осадков на суше R_1 ;
- годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с суши на океаны, D_1 ;
- годовое количество воды, приносимое реками в океан, F .

Приняв за исходное положение, что общее количество влаги на Земле остается постоянным и, следовательно, количество воды, поступающей с океана на сушу, возвращается в океан «не уменьшенным и не увеличенным», Э. Брикнер выразил баланс круговорота воды в следующих двух равенствах:

$$R_m = V_m - D_m + D_1 = V_m - (D_m - D_1) = V_m - F;$$

$$R_1 = V_1 + D_m - D_1 = V_1 + (D_m - D_1) = V_1 + F.$$

³⁶ Э. А. Брикнер. Баланс круговорота воды на земле. «Почвоведение», 1907, т. 7, № 3.

В схему, предложенную Брикнером, в последующем не было внесено каких-либо поправок. Очевидно, эта схема правильно отображает сущность влагооборота, его основные звенья, хотя она и не лишена недостатков. К ее недостаткам относится, в частности, отсутствие в ней члена, учитывающего подземный сток в океан. Но Брикнер не только дал схему круговорота воды, но и количественно выразил входящие в нее элементы. При этом три величины в уравнениях были приняты как приблизительно известные: это — количество осадков на суше (R_1), испарение с океанов и морей (V_m) и объем речного стока (F). Другие величины получались из уравнений.

В течение многих веков вырабатывалось представление о влагообороте в природе. Но еще более трудную задачу представляло количественное выражение элементов водного баланса Земли. Эта задача решалась по мере накопления фактических данных и развития научных методов наблюдений и исследований.

Баланс круговорота воды был представлен Брикнером следующими данными:

	тыс. км ³	см	%
<i>А. Вся суша (510 млн. км²)</i>			
Испарение с моря	384	75	80
Испарение с суши	97	19	20
<hr/>			
Осадки на суше и на море	481	94	100
<i>Б. Океаны (366 млн. км²)</i>			
Испарение с моря	384	105	100
Количество водяных паров, переходящих на сушу (netto)	25	7	7
<hr/>			
	359	98	93
<i>В. Периферические области суши (114 млн. км²)</i>			
Поступление паров с моря (netto)	25	22	29
Испарение с суши	87	76	10
<hr/>			
Осадки в периферич. части суши	112	98	129
<i>Г. Области, не имеющие стока (30 млн. км²)</i>			
Испарение с бессточных областей	10	33	100
<hr/>			
Осадки в бессточных областях	10	33	100

Величину осадков на суше (R_1) Брикнер принял по вычислениям Д. Меррея (1887), произведенным на основании карты

осадков Е. Лумиса (1883). Объем стока он также взял по вычислениям Меррея, которые последний произвел по данным о расходах 33 больших рек земного шара. Обе эти величины вскоре же, в 1906 г., были уточнены учеником Брикнера Р. Фриче³⁷. Подсчитав осадки на суше по более полной карте А. Зупана, Фриче нашел их равными $111\,940 \pm 160 \text{ км}^3$, причем $101\,450 \text{ км}^3$ относится к периферическим частям суши (занимающим, по Фриче, 117 млн. км^2) и $10\,490 \text{ км}^3$ к частям суши без стока (32 млн. км^2). Определение величины стока Фриче произвел на основании данных о расходах 52 различных рек. Испарение с океана Брикнер подсчитал, воспользовавшись небольшим числом данных об испарении с прудов и озер.

Мы не будем далее останавливаться на том, как постепенно уточнялись величины осадков на суше и испарения с океанов. Скажем лишь, что в настоящее время эти величины принимаются округленно равными: осадки на суше — 107 тыс. км^3 (99 тыс. км^3 в периферических частях и 8 тыс. км^3 в бессточных частях); испарение с океанов — 449 тыс. км^3 .

Коротко остановимся на истории определения величины речного стока в океан.

Ж. Л. Бюффон предполагал, что все реки земного шара в 812 лет доставляют в океан массу воды, равную объему воды в океане³⁸. В настоящее время считается, что масса воды Мирового океана составляет более 1300 млн. км^3 . Следовательно, чтобы доставить в океан столько воды в 812 лет требуется, чтобы годовой сток рек составлял не 36 тыс. км^3 , как принимается в настоящее время, а в 44 раза больше, т. е. примерно 1600 тыс. км^3 . Мы приводим это весьма далекое от действительности предположение французского естествоиспытателя, чтобы показать, что еще во второй половине XVIII в. сток рек и объем воды в океане не были известны даже приблизительно.

Определение стока рек земного шара с приемлемым приближением к действительности было произведено (ранее 1867 г.) Меткальфом и К. Джонсоном. В своих подсчетах оба они исходили из количества осадков, выпадающих на суше, принимая определенную величину коэффициента стока. Меткальфф получил сток равным 48 тыс. км^3 в год, а Джонсон — 63 тыс. км^3 в год³⁹.

³⁷ Реферат его статьи, составленный Е.В. Опоковым, см. в журнале «Почвоведение», 1907, т. 9, № 2.

³⁸ Ж. Бюффон. Всеобщая и частная естественная история, ч. II. СПб., 1811, стр. 23.

³⁹ А не 56 тыс. км^3 в год, как у А. И. Воейкова в «Климатах земного шара», так как 200 тыс. $\text{м}^3/\text{сек}$ (среднегодовой расход всех рек по Джонсону), умноженные на $31,6 \times 10^6$ секунд в году, дают 63 тыс. км^3 в год.

Э. Реклю, находя числа Меткальфа и Джонсона преувеличенными, произвел (1867) подсчет стока, пользуясь иным методом, а именно, положив в основу подсчета фактические данные о расходах 26 крупных рек земного шара, бассейны которых составляют почти $\frac{1}{5}$ периферических областей суши. Приняв, далее, количество воды, приносимой реками в море, пропорциональным площади суши, он нашел, что общий расход всех рек равняется примерно 1000 тыс. м³/сек, а объем стока, следовательно, 31,5 тыс. км³ в год⁴⁰, т. е. в два раза меньше, чем у Джонсона.

А. И. Воейков считал преувеличенными объемы стока не только у Джонсона, но и у Реклю.

Он полагал, что общий расход рек, для которых не имелось фактических данных о стоке, должен быть принят не пропорциональным водосборной площади этих рек, а значительно меньшим.

Принимая по новым подсчетам Реклю (1883), относившимся к значительно большему числу крупных рек с водосборной площадью около $\frac{1}{3}$ периферической части суши, суммарный расход рек равным 350 тыс. м³/сек, А. И. Воейков считал, что реки остальных $\frac{2}{3}$ суши доставляют ежесекундно в океан лишь $\frac{7}{10}$ этого количества. Получив таким образом размер годового стока рек равным 16,8 тыс. км³, он допускал, что и в его подсчете имеется преувеличение.

На самом же деле А. И. Воейков ошибался в сторону уменьшения стока ровно в два раза⁴¹.

Отметим, что, по подсчетам Реклю, среднее значение коэффициента стока оказалось равным приблизительно $\frac{1}{3}$ — величине, которую долго считали неизменной также применительно к отдельным бассейнам.

Не останавливаясь на дальнейших уточнениях объема годового стока рек в океан, так как они относятся ко времени, выходящему за рамки рассматриваемого периода (Г. Вюст — 1922; В. Мейнардус, В. Хальбфасс — 1934; А. В. Вознесенский — 1938; М. И. Львович — 1940), укажем, что в настоящее время речной сток в океан принимается равным примерно 36 тыс. км³ в год, причем единовременный запас воды в реках всего земного шара приблизительно определяется⁴² в 1200 км³.

Перейдем к истории проблемы стока в отдельном речном бассейне. Как уже говорилось, эта проблема имеет очень важ-

⁴⁰ Э. Реклю. Земля. I. Суша. СПб., 1872.

⁴¹ Если число 16,8 исправить на 18,6, так как 600 тыс. м³/сек. \times 31,5 \times 10⁶ = 18,6 тыс. км³.

⁴² Водный баланс земного шара по современным данным представля-

ное практическое значение. Для того чтобы наметить мероприятия по рациональному использованию водных ресурсов того или другого речного бассейна, необходимо прежде всего знать

отся в следующем виде (М. И. Львович. Элементы водного режима рек земного шара. М., 1945, стр. 57):

Элемент баланса	Годовой объем в км ³	Годовой слой		В % к осадкам отдельных частей земного шара
		в мм	в % к осадкам всего земного шара	

Периферийная часть суши (116 778 тыс. км²)

Речной сток	36 300	310	7,0	36,5
Испарение	63 000	540	12,1	63,5
Осадки	99 300	850	19,1	100

Бессточные области суши (32 033 тыс. км²)

Испарение	7 700	240	1,5	100
Осадки	7 700	240	1,5	100

Мировой океан (361 100 тыс. км²)

Испарение	447 900	1240	86,5	108,8
Приток речных вод . .	36 300	100	7,0	8,8
Осадки	411 600	1140	79,5	

Земной шар (510 000 тыс. км²)

Испарение с океана . .	447 900	875	86,5	86,5
Испарение с суши . . .	70 700	140	13,5	13,5
Осадки или испарения на земном шаре	518 600	1015	100	100

Примечания. 1. Годовой слой притока речных вод в океан (100 мм) выражает отношение речного стока к площади океана.

2. Годовые слои испарения с океана (875 мм) и с суши (140 мм) получены делением объемов испарения с океана и суши на площадь всего земного шара.

возможные объемы годового стока рек данного бассейна, средне-многолетнюю величину (норму) стока, его распределение в году, максимальные значения расходов воды во время половодий и паводков, минимальные величины стока. Лучший ответ на все эти вопросы мог бы быть получен из материалов многолетних непосредственных наблюдений за стоком. Однако организация таких наблюдений на всех более или менее значительных реках невозможна по экономическим причинам. Да это и не является необходимым. Учение о стоке именно потому и приобрело значение самостоятельной научной дисциплины, что в нем на основе эмпирического материала, полученного по ограниченному числу речных бассейнов, даются обобщения, касающиеся общих закономерностей стока и влияющих на него факторов, и разрабатываются методы расчетов и прогнозов стока, обслуживающие инженерную практику.

Исследования по стоку в отдельных речных бассейнах, начатые в странах Европы и в США во второй половине XIX в., естественно, должны были прежде всего установить основные факторы, влияющие на его величину. Тем, кто задумывался над явлением стока, не могла не броситься в глаза его зависимость от климатических факторов, и прежде всего от осадков. Одним из первых прямое сопоставление величин стока и осадков произвел Ф. Араго, сравнивший десятилетние средние за год уровни Сены в Париже и количества атмосферных осадков по данным Парижской обсерватории за 1739—1853 гг. (с перерывами). «В парижском бассейне, — замечал Араго, — сухой год должен представить одновременно минимумы низкой, высокой и средней воды»⁴³. Такие же сравнения были произведены затем и рядом других западноевропейских исследователей (Пралле — для р. Ильменау, притока Эльбы, Мокери — для верховья р. Соны, Пенком — для Дуная у Вены и др.)⁴⁴. Уже эти первые сопоставления показали явную зависимость величины стока от количества осадков, а также следующую за колебаниями осадков изменчивость по годам не только абсолютных величин стока, но и его отношения к осадкам (коэффициентов стока). Взгляд на сток, как на продукт климата, и прежде всего результат атмосферных осадков, нашел обобщенное выражение в труде А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России». Его положение, что реки являются продуктом климата, получившее всеобщее признание, явилось руководящим в последую-

⁴³ Ф. Араго. Избранные статьи из записок о научных предметах, т. I. СПб., 1866, стр. 324.

⁴⁴ Е. В. Оппоков. О водопоспости рек в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока. «Записки Русского географического общества по общей географии», 1911, т. XLVII, стр. 239.

щем развитии учения о стоке. Дальнейшие исследования полностью подтвердили указанное положение, сформулированное А. И. Воейковым в значительной мере на основе априорных заключений.

Весьма интересной явилась опубликованная в 1892—1893 гг. в США работа Ф. Х. Ньюэля «Results of steams measurements», в которой он наглядно показал прямую связь между стоком и осадками, изобразив распределение их по территории США в виде изолиний средних значений. Отметим, что Ньюэль первым применил способ изображения стока на карте линиями, проведенными через определенные интервалы величин стока с отношением значений стока в данном бассейне к его центру.

Из трудов русских ученых того времени большое научное значение имела работа М. А. Рыкачева «Колебания уровня воды в верхней части Волги в связи с осадками» (1895). Свои исследования М. А. Рыкачев производил в связи с просьбой судовладельцев, обращенной к Главной физической обсерватории, об организации службы предсказаний уровней воды в реках. На построенных им для Волги в Твери, Рыбинске, Костроме, Нижнем Новгороде и Верхнем Услоне совмещенных графиках колебания уровней в реке в многоводном 1888 г. и колебания в течение года осадков зависимость уровней воды от осадков оказалась вполне явственной. Особенно наглядным явилось сопоставление построенных для Волги у Рыбинска и Оки у Муромы кривой уровней и кривой осадков сверх того их количества, которое необходимо для поддержания постоянного уровня.

Зависимость стока от климатических факторов, прежде всего от осадков, была неоспоримо констатирована и в трудах крупного русского климатолога Е. А. Гейнца, о чем выше уже говорилось.

Связь уровней рек и озер и метеорологических элементов нашла также подтверждение в опубликованном в 1890 г. обстоятельном исследовании Э. Брикнера «Klimaschwankungen seit 1700» (Wien). В этом труде Брикнер не только показал наличие указанной связи, но и установил существование периодических колебаний климата, а значит и водности рек. Заметим, что еще В. И. Татищев указывал на определенную цикличность в изменениях климата с приблизительной длительностью циклов в 30—35 лет. Брикнер, на основании обработки многочисленных метеорологических, гидрологических и некоторых других материалов, пришел к выводу о чередовании во времени холодных и обильных осадками (влажных) периодов с периодами теплыми и сухими (бедными осадками), причем средняя с 1700 г. продолжительность периодов, считая от максимума до максимума или от минимума до минимума, оказалась равной примерно

35¹/₂ годам. По Брикнеру, в XIX в. холодными и влажными были периоды 1806—1815, 1841—1855 и 1871—1885 гг., а теплыми и сухими периоды 1820—1840 и 1856—1870 гг.⁴⁵ Вопросом о периодичности в колебаниях климата занимались и другие ученые. Так, климатологом М. А. Боголеповым на основании обработки сведений о погоде в русских летописях была установлена периодичность с продолжительностью в 33¹/₃ года. При этом Боголепов писал, что выведенный им период и 11-летний период колебания солнечной активности «имеют одну неизвестную нам причину»⁴⁶.

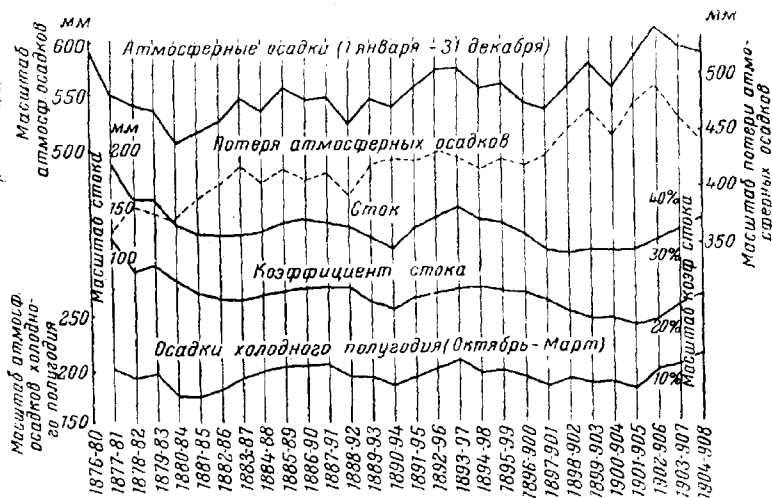
Исследованию зависимости стока рек от климатических условий много внимания уделил крупный русский гидролог Е. В. Оппоков, посвятивший этой проблеме ряд ценных работ, первой из которых была написанная им глава о гидрометрических исследованиях Западной экспедиции по осушению болот в вышедшем в 1899 г. очерке работ этой экспедиции. И в этой и в ряде последующих работ Оппоков убедительно показывает прямую зависимость как абсолютных, так и относительных значений стока (коэффициентов стока) от осадков. При этом он применяет способ графического сопоставления стока и осадков, весьма наглядно иллюстрирующий климатическое происхождение стока. Для сглаживания больших неравномерностей в годовых количествах осадков и стока, сильно маскирующих соотношение между ними, Оппоков сопоставляет не однолетние средние величины, а средние за пятилетия, образуемые из данных за каждый год по порядку и за последующие четыре года.

На рисунке мы воспроизводим составленные Е. В. Оппоковым совмещенные графики колебаний осадков, потери осадков и стока в бассейне Днепра выше Киева за 1876—1908 гг. Этот рисунок мы взяли из второго тома, вышедшего в 1904—1914 гг. капитального труда Е. В. Оппокова «Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Киева) и его составных частях», в котором дано всестороннее освещение гидрологии рассматриваемого бассейна и обобщены взгляды автора на сток и на определяющие его факторы, последовательно развивавшиеся Е. В. Оппоковым в многочисленных статьях. В этом труде Оппоков показывает климатологическое происхождение стока, признавая основными его факторами осадки и температуру; подробно рассматривает влияние на сток местных условий; исследует вопрос о накоплении и расходовании грунтовых вод;

⁴⁵ Е. В. Оппоков. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Киева)...., ч. I. СПб., 1904, стр. 67.

⁴⁶ М. Боголепов. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. «Землеведение», 1907, кн. III—IV.

доказывает несостоятельность теории прогрессивного обмеления рек (о чем см. ниже) и ошибочность мнения о вредности осушения болот для меженного питания рек.



Графики колебания осадков, потери осадков, стока и коэффициента стока в бассейне р. Днепра выше г. Кисса за 1876—1908 гг.

В своем отзыве о первой части труда Оппокова М. А. Рыкачев писал, что этот труд «представляет не только первое исследование в обширных размерах режима одной из больших рек Российской империи, но и шаг вперед в науке вообще», а А. И. Воейков говорил в 1915 г. об Оппокове, что он — «один из самых выдающихся русских гидрологов»⁴⁷.

Выражением того, что сток имеет климатическое происхождение, является уравнение круговорота воды в речном бассейне, согласно которому для многолетнего периода

$$y_0 = x_0 - z_0,$$

где y_0 — сток, x_0 — осадки, z_0 — испарение в бассейне, средние для года.

А. Пенк, рассматривая в своей работе «Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grosseren Landflächen» (Wien, 1896) уравнение водного баланса, относящееся к неполному круговороту, обнимающему отдельные месяцы года, обратил внимание на явление накопления влаги в бассейне в одни месяцы и расходование ее в другие месяцы, обозначив процесс

⁴⁷ Отзывы о научных работах профессора Киевского политехнического и Киевского сельскохозяйственного институтов Е. В. Оппокова в области гидрологии и мелиорации. Киев, 1929, стр. 4.

расходования термином «питание», имея, очевидно, в виду питание рек за счет накопления.

В статье «Многолетние колебания стока на больших речных бассейнах в связи с колебаниями метеорологических элементов» (1906), сначала опубликованной в 1903—1904 гг. в издававшемся Гравелиусом в Дрездене «Журнале водного дела», Е. В. Оппоков представил уравнение водного баланса бассейна в более общем, чем у Пенка, виде, а именно: кроме потерь на испарение он ввел в уравнение еще потери на просачивание и подземный сток за пределы бассейна, а также заменил термин «питание» более общим термином «расходование», имеющим в виду не только отдачу накопленных запасов влаги рекам, но и отдачу их путем испарения в атмосферу.

Уравнение водного баланса речного бассейна, имеющее важное значение в расчетах стока, вошло в гидрологическую литературу под названием уравнения Пенка — Оппокова.

Тот факт, что сток является функцией осадков, естественно, привел к попыткам построения эмпирических формул, выражающих величину стока в бассейне в зависимости от осадков.

Австрийский инженер Ишковский предложил в 1886 г. («Die Formeln zur Ermittlung der Normal und Hochwassermengen von Bächen und Flüssen mit normalen Abflussverhältnissen», Wien) для среднего годового стока с больших канализованных площадей следующую формулу (в преобразованном виде):

$$q = 0,0317 c h \text{ м}^3/\text{сек км}^2,$$

где c — коэффициент, равный для средних условий рельефа 0,20—0,25; h — среднее годовое количество осадков в метрах.

В 1896 г. А. Пенк в названном на стр. 213 исследовании, а в 1906 г. Г. Келлер в работе «Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa» (Berlin)⁴⁸ выразили среднегодовой сток для Средней Европы формулами вида:

$$y = \alpha (x - x_{\min}),$$

представляющими уравнение прямой линии, где y — среднегодовая высота слоя стока; x — среднегодовая высота слоя осадков; x_{\min} — минимальная величина слоя осадков, при превышении которой начинается сток; α — доля стока от избытка осадков сверх их минимального значения. Количественно эти величины равнялись: у Пенка $x_{\min} = 420$ мм, $\alpha = 0,73$; у Келлера $x_{\min} = 430$ мм, $\alpha = 0,94$. Следовательно, зависимость стока от осадков, выраженная формулами Пенка и Келлера, могла относиться лишь к бассейнам с осадками выше 420—430 мм в год.

В Уле в своей работе 1903 г. «Niederschlag und Abfluss in

⁴⁸ См. подробный реферат Е. В. Оппокова в журнале «Почвоведение», 1907, т. 9, № 3.

Миттелеурога»⁴⁹ предложил для выражения связи стока с осадками в пределах Средней Европы кривую с уравнением:

$$y = 18x 10^{-2} + 9x^2 10^{-5} + x^3 10^{-7}.$$

Видный русский гидрометеоролог Э. М. Ольдекоп в опубликованной в 1911 г. глубокой работе «Испарение с поверхности речных бассейнов», анализируя приведенные выше формулы немецких авторов, заметил, что эмпирические данные, которыми, например, пользовался Келлер, свидетельствуют, что «и в такой ограниченной области, как средняя Европа, не существует общей для всех бассейнов кривой испарения или стока»⁵⁰. Следовательно, предпочтение должно быть отдано формулам, учитывающим особенности отдельных бассейнов. Учет этих особенностей отражен, например, в формуле Ишковского, а также в опубликованной в 1904 г. формуле П. Шрейбера («Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse im Mitteleuropa»).

$$y = x 10^{-\frac{a}{x}}, \text{ где } a = 200 \div 500.$$

Таким образом, уравнение Шрейбера — это уравнение семейства кривых, выходящих из начала координат. Написав это уравнение в виде:

$$y = xe^{-\frac{k}{x}},$$

где $k = 2,3 a$, Ольдекоп указал, что k представляет предел величины испарения при все увеличивающемся количестве осадков.

Относительно практической приложимости формулы Шрейбера Ольдекоп заметил, что она не дает возможности определить величину стока для бассейна, так как величина параметра a может быть определена только из данных наблюдений за осадками и стоком, причем, по мнению Шрейбера, по крайней мере в продолжение пяти лет. На рисунке (стр. 216) показаны графики зависимости стока от осадков по уравнениям Пенка, Келлера и Шрейбера (для $a = 350$ мм). К недостаткам формул Пенка, Уле, Келлера, Шрейбера Э. М. Ольдекоп справедливо относил следующее: во-первых, в них независимым переменным входит только величина осадков, между тем и другие климатические факторы в процессе испарения, а значит и стока, играют важную роль; во-вторых, формулы не учитывают распределения осадков по временам года, между тем зимние осадки испаряются значительно меньше, чем летние. Оба эти обстоятельства

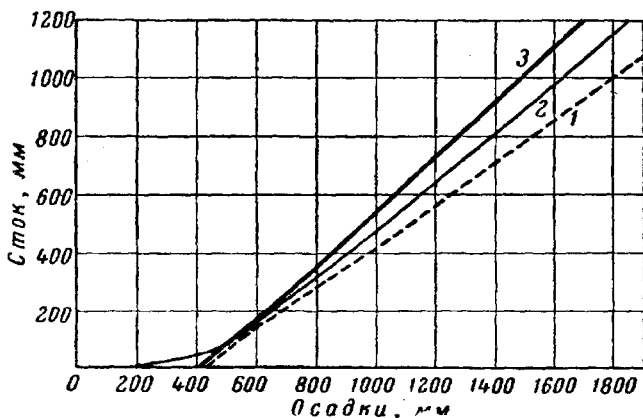
⁴⁹ Подробный реферат этой работы, принадлежащий Е. В. Ошкокову, см. в журнале «Почвоведение», 1904, т. 6, № 1,

⁵⁰ Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911, стр. 150.

учитываются формулой, предложенной Ольдекопом для годового испарения:

$$z = z_0 \operatorname{th} \left(\frac{x}{z_0} \right).$$

В этой формуле z_0 — возможный для данных климатических условий максимум испарения при наличии постоянного избытка влаги в почве (понятие, введенное Ольдекопом); th — символ гиперболического тангенса; x — среднегодовое количество осадков. Ольдекоп считал, что формулу лучше применять отдельно



Зависимость стока от осадков по Пенку (1), Шрейберу (2) и Келлеру (3)

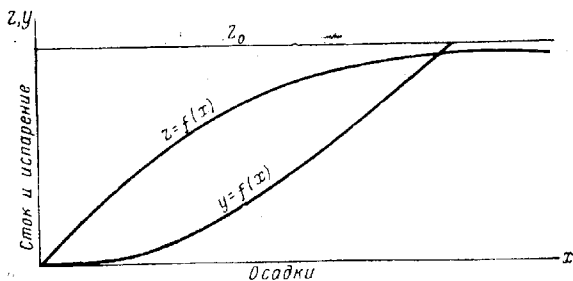
к зимнему (XI—IV) и летнему (V—X) полугодиям. Тогда, на основании эмпирических данных, величина максимально возможного испарения должна приниматься в следующих соотношениях со средними для полугодий дефицитами влажности: для зимнего полугодия $z_0 = 96d$, для летнего полугодия $z_0 = 136d$.

Ольдекоп пишет, что подбор формулы был произведен им, исходя из того, что она «должна представлять собою кривую (или точнее, целую группу кривых) следующего характера: для $x = 0$, $z = 0$ и угол наклона кривой к оси абсцисс равен 45° ; увеличение z с увеличением x замедляется, чем больше x , т. е. угол наклона кривой к оси абсцисс уменьшается, и кривая, наконец, переходит в прямую, параллельную оси абсцисс»⁵¹. Применяв свою формулу к некоторым рекам Германии и к Оке, Ольдекоп получил разницу в значениях стока, вычисленных по

⁵¹ Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911, стр. 154.

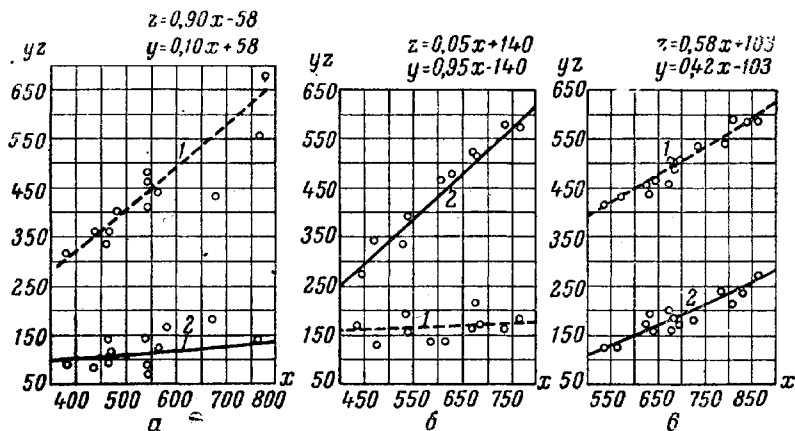
формуле и фактически наблюдаемых, равной 1—11%. Однако, как замечает Д. Л. Соколовский, практическое использование формулы Ольдекопа затрудняется неизвестностью значений коэффициентов при дефицитах влажности, изменяющихся в зависимости от географического положения.

Важным научным результатом исследования Ольдекопа явилось установление двух крайних типов бассейнов по соотношению в них между осадками, испарением и стоком. Несомненно,



Зависимость стока и испарения от осадков по Э. М. Ольдекопу

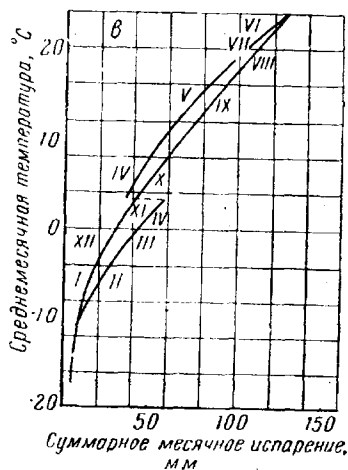
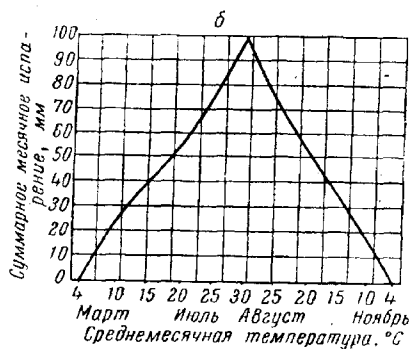
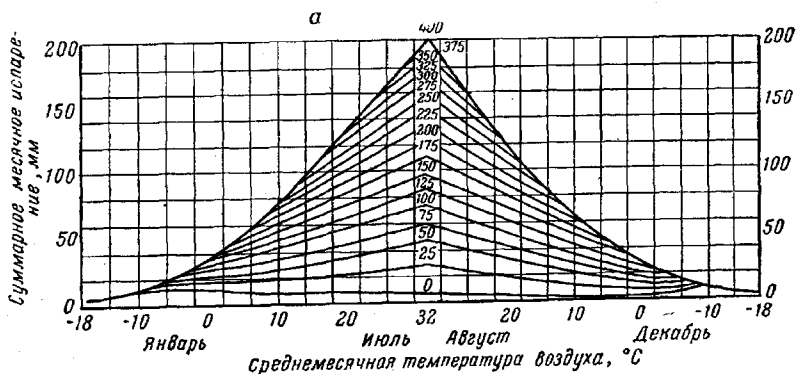
что испарение и сток являются функциями осадков. Однако вид этих функций для различных бассейнов различен, причем различие это кроется в характере испарения, которое, все более замедляясь с увеличением осадков, при некотором пределе последних становится постоянным. Но из рисунка видно, что, если



Кривые испарения и стока для бассейнов различного типа:

а — I тип — р. Ока; б — II тип — р. Дальэльф (Швеция); в — промежуточный тип р. Эльба (Германия). Кривые: 1 — испарение; 2 — сток

углы наклона кривой испарения к оси абсцисс изменяются от 45° до 0° , то изменение углов наклона кривой стока к оси абсцисс является обратным, и в сумме углы наклона обеих кривых в каждой точке составляют 45° . Исследуя данные по осадкам, испарению и стоку для различных речных бассейнов и представляя связь между этими величинами в пределах года линейной, Ольдекоп показал, что могут быть выделены два крайних типа бассейнов: тип I — бассейны, кривые испарения и стока в которых соответствуют нижним участкам кривых, изображающих общую зависимость между осадками, испарением и стоком (см. рисунок); тип II — бассейны, кривые испарения и стока



Графики Мейера для определения испарения:

а — с поверхности почвы; б — растительного покрова; в — с поверхности воды, снега и льда

в которых соответствуют верхним участкам общих кривых. К I типу относятся бассейны зоны недостаточного увлажнения, а ко II типу — бассейны зоны избыточного увлажнения. Ясно, что между I и II типами находятся бассейны с различными соотношениями между испарением и стоком.

Говоря о формулах определения среднегодового стока, следует указать еще на опубликованное в 1915 г. предложение американского исследователя А. Мейера, который попытался разработать вопрос об учете всех факторов, влияющих на сток, и прежде всего исследовал влияние метеорологических элементов на испарение. Имея в виду, что испарение зависит прежде всего от осадков и температуры и что оно происходит с водной поверхности, снега и льда, с поверхности почвы и путем транспирации растениями, Мейер построил три стандартных графика для средних условий, дающих возможность по метеорологическим данным подсчитать (с введением двух поправочных коэффициентов, выбор которых недостаточно определен) испарение с поверхности речных бассейнов, а следовательно, и сток, поскольку сведения об осадках обычно всегда имеются.

Возвращаясь к труду Э. М. Ольдекопа, укажем еще на то, что в нем большое внимание уделено исследованию факторов, влияющих на испарение и сток. Установив типы бассейнов по характеру зависимости испарения и стока от осадков, Ольдекоп далее выясняет зависимость испарения от остальных климатических факторов (температуры, ветра, инсоляции, интенсивности таяния снега, состояния почвы во время таяния, характера выпадения осадков). Он приходит к следующему общему выводу: «Очевидно, что в бассейнах II типа, в которых испарение независимо от осадков (прямая испарения || оси абсцисс), величина испарения определяется исключительно (остальными. — И. Ф.) климатическими факторами; между тем как в бассейнах I типа, в которых величина испарения почти равна количеству осадков, испарение зависит главным образом от количества осадков. Для бассейнов промежуточных будет преобладать то влияние осадков, то влияние остальных климатических факторов, смотря по тому, приближаются ли они к I или II типу бассейнов»⁵².

Весьма интересным является также исследование Ольдекопом вопроса о влиянии на испарение и сток других, неклиматических, или, как он говорил, физико-геологических факторов (свойств почв, рельефа бассейна, растительного покрова, болот, озер). О взгляде Ольдекопа на гидрологическую роль леса, под-

⁵² Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911, стр. 52.

робному выяснению которой он посвятил две главы своего труда, будет сказано ниже; здесь же мы укажем на то, что Ольдекоп впервые дает количественную оценку соотношения между влиянием на величину испарения и стока осадков и физико-географических факторов. На основании данных об осадках и испарении по 50 бассейнам Средней Европы с осадками в пределах 600—900 мм Ольдекоп устанавливает, что верхний предел отклонения испарения в отдельных бассейнах от средней величины испарения для Средней Европы (446 мм), вызываемого именно влиянием всех других факторов, кроме осадков, равен 70 мм, или 15,7%. По отношению же к норме стока рек Средней Европы, равной 268 мм, предельное отклонение от нее под влиянием физико-географических факторов составляет 26%.

Именно то обстоятельство, что влияние на испарение и сток физико-географических факторов не является значительным, позволяет Ольдекопу на свой вопрос, «возможны ли вообще... формулы (испарения и стока.— И. Ф.), привимающие во внимание лишь влияние метеорологических факторов и игнорирующие влияние физико-геологических», дать следующий ответ: «...если не требуется особой точности, то, действительно, можно ограничиваться введением в формулу одних лишь климатических факторов, тем более, что влияние физико-геологических факторов, по существу дела, трудно поддается математической формулировке»⁵³.

О монографии Э. М. Ольдекопа «Испарение с поверхности речных бассейнов» можно с полным основанием сказать, что этот труд явился крупным достижением русской научной мысли в познании закономерностей испарения и стока.

Рассматривая вопрос о влиянии на сток местных физико-географических факторов, мы считаем интересным остановиться на истории длительной дискуссии по поводу гидрологической роли лесов и болот.

Вопрос о значении леса в ряду факторов, влияющих на круговорот воды в речных бассейнах, имеет большой теоретический и практический интерес.

Какова роль леса в сложной связи гидроклиматических явлений, в частности, как влияет лес на водоносность рек — уменьшает или увеличивает ее, — вот тот вопрос, который еще в давнее время привлек к себе внимание многих исследователей и породил обширную литературу, отразившую различные точки зрения, вплоть до диаметрально противоположных. В литературе, посвященной рассматриваемому вопросу, почти до самого конца XIX в. господствующее место занимал взгляд, что лес

⁵³ Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911, стр. 149.

увлажняет климат, хранит влагу, питает реки, поддерживает их полноводность в сухие периоды года.

Сторонники этого взгляда, подчеркивая его древность, ссылаются как на авторитет на римского писателя Витрувия, который доказывал благотворное влияние лесов и болот на водность рек. Мы знаем, что это представление является общепринятым и в народе, да и возникло оно из народных наблюдений. Но сторонники противоположного мнения о лесе среди своих авторитетов имеют столь же древнего писателя Плиния Старшего, который считал, что произрастание деревьев препятствует образованию ключей.

Вопрос о гидрологической роли леса, то затухавший, то вновь возбуждавший интерес ученых, привлек к себе особенное внимание после выхода в свет в 1837 г. первого тома труда немецкого ученого Г. Берггауза «Allgemeine Länder- und Völkerkunde» (Stuttgart, 1837—1846), в котором он на основании многолетних гидрометрических наблюдений за уровнями Эльбы и Одера пришел к выводу о последовательном уменьшении стока этих рек и объяснил это обстоятельство истреблением лесов. При этом он считал, что истребление лесов привело к уменьшению выпадающих осадков, полагая, что леса притягивают атмосферную влагу⁵⁴.

В многочисленных сочинениях середины XIX в., посвященных рассматриваемой проблеме, авторы их, не обладая бесспорными данными, которые доказывали бы непосредственное влияние леса на питание рек, весьма охотно прибегают к доказательствам от противного (раз реки по истреблении леса в данном бассейне обмелели, значит, лес поддерживал их многоводье) и к общим, хотя часто верным рассуждениям.

В последнем отношении примером может служить статья «О влиянии истребления лесов на обмеление рек и о мерах к предохранению от оного», напечатанная в 1836 г. в «Журнале Министерства внутренних дел». В этой статье имеется немало совершенно правильных замечаний, в частности о том, что истребление лесов повышает уровень половодий и усиливает их вредное разрушительное действие, а также ускоряет занесение русел рек продуктами размыва обнаженных покатостей рельефа. Главный же вред лесостребления автор видит в том, что оно ведет к обмелению рек. При этом он утверждает, хотя и не приводит в доказательство никаких данных измерений (да их в то время и не было), что «Днепр мелсет год от году», мелеют Волга и Западная Двина, Москва-река и Урал. Относительно некоторых рек европейского севера автор

⁵⁴ Я. Вейнберг. Вопрос об уменьшении вод в источниках и реках. «Русский вестник», 1878, т. 133.

замечает, что горизонт в них «понижается ныне несравненно скорее, нежели прежде, когда леса примыкали к самым берегам рек»⁵⁵.

Вопрос об обмелении рек в связи с уменьшением залесенности бассейнов неоднократно обсуждался в России в авторитетных научных учреждениях. В 1836 г. правительством была назначена комиссия для изучения вопроса, действительно ли мелеют верховья Волги, и если да, то не является ли это следствием уменьшения лесов в ее бассейне.

Комиссия нашла факт обмеления Волги доказанным и причиной этого признала истребление лесов. Однако ученый комитет Министерства государственных имуществ не согласился с заключением комиссии о понижении уровня Волги. Комитет признал, что предложение комиссии о запрещении рубки леса по обоим берегам Волги на 15 верст по всему ее течению до соединения с Окой и на 7 верст по притокам и о лесоразведении на безлесных участках может быть рекомендовано для осуществления, если будет доказано: 1) что количество воды в реках уменьшается, 2) что причиной этого является истребление лесов, 3) что гидротехнические средства (например, подпитывание Волги из оз. Селигер) не в состоянии предотвратить опасности обмеления⁵⁶.

Вопрос был передан на рассмотрение Академии наук. Выделенная ею комиссия в составе Бэра, Кеппена и других не нашла доказанным уменьшение вод в верхних притоках Волги, но признала, что уничтожение лесов влечет за собой ускорение стока талых вод, следствием чего является понижение водности рек в летние месяцы, а также заиление русел, которое может стать причиной обмеления. Комиссия признала необходимым организовать гидрометрические наблюдения за стоком для выяснения изменений в количестве протекающей воды и распределения ее по временам года.

Значительный научный интерес представляет предисловие К. М. Бэра к отчету «О количестве вод и лесов в системе верхней Волги», написанному П. Кеппеном и опубликованному в издававшемся Бэром и Гельмерсенем сборнике «Beiträge zur Kenntniss des Russischen Reiches» (кн. IV, СПб., 1841). К. М. Бэр, рассматривая вопрос о гидрометеорологическом значении леса в широком плане, приходит к следующим выводам⁵⁷. Он считает, что в высших широтах количество вод от степени залесен-

⁵⁵ О влиянии истребления лесов на обмеление рек и мерах к предохранению от оногo. «Журнал Министерства внутренних дел», 1836, ч. XXI, стр. 289.

⁵⁶ «Журнал Министерства государственных имуществ», 1842, ч. IV, кн. 1, стр. 158.

⁵⁷ О влиянии истребления лесов на обмеление рек. «Журнал Министерства государственных имуществ», 1844, ч. XII, № 10.

ности речных бассейнов не зависит, так как «количество влажности, опускающееся из воздуха на землю, зависит не от небольших местностей, но от обширных всеобъемлющих отношений».

Относительно недостатка питания наших рек во время сухого лета, особенно в области Верхней Волги, Бэр говорит, что причина его в том, что «здесь нет гор, которые бы привлекали к себе снег и дождь, и потому именно были года, в которые вода стояла необыкновенно низко».

Обстоятельно взвешивая как положительные, так и отрицательные гидрологические качества леса, в числе последних Бэр отмечает большую испаряющую способность леса и подчеркивает, что без точных и продолжительных наблюдений нельзя вовсе судить об уменьшении воды, как следствии уменьшения леса. К. М. Бэр считает, что «сухость многих жарких стран есть не столько следствие недостатка лесов, сколько причина оного, хотя во всяком случае безлесие в этих странах имеет обратное влияние и на большую их сухость». Следовательно, Бэр, отрицая прямое влияние лесов на водность рек, вместе с тем признает их увлажняющее влияние на климат.

Таким образом, еще в 30—40-х годах прошлого века русские научные круги далеко не отличались единодушием в оценке гидрологической и климатической роли леса, причем доминирующее мнение отнюдь не склонялось к переоценке этой роли. Но вместе с тем при обсуждении в печати мер борьбы с засухами и мелководьем рек настойчиво выдвигались предложения о сбережении и разведении лесов, исходившие от сторонников общепринятого мнения о лесе как хранителе влаги. Можно, например, указать на письмо в редакцию «Об основных причинах неурожая в России и средствах отвращения оных»⁵⁸, на статью члена Вольного экономического общества Ф. Шмальца «Взгляд на полуостров Крым в земледельческом и промышленном отношении», опубликованную в 1842 г. в «Трудах» этого общества⁵⁹. Автор этой статьи признавал, что леса благотворно влияют на климат только в том случае, если они имеются «в умеренном количестве» и расположены «соответственно надобности». В начале XIX в. в России были начаты практические мероприятия по искусственному лесоразведению в степной зоне. В 1809 г. В. Я. Ломиковским впервые были произведены полосные лесопосадки.

Теория водоохранной роли леса, имевшая у нас в наиболее авторитетных научных кругах немного сторонников, большое

⁵⁸ «Журнал Министерства государственных имуществ», 1842, ч. IV, кн. 1.

⁵⁹ «Труды Вольного экономического общества», 1842, часть первая, стр. 74.

распространение получила на Западе, хотя и там были ее противники, например, известный французский ученый Гей-Люссак. В отчете комиссии, которой был поручен в 1836 г. пересмотр французского лесного кодекса, имеется следующее заявление Гей-Люссака: «У нас нет никаких положительных данных, чтобы лес сам по себе имел существенное влияние на климат целой страны или какой-либо местности. Тщательное исследование последствий от истребления лесов, может быть, приведет нас к тому заключению, что истребление лесов не только не приносит вреда, а напротив, полезно»⁶⁰.

Г. Н. Высоцкий, ставя вопрос о том, почему у нас лес считается водоохранителем, указывал на большое значение зарубежных традиций. «Там,— писал он,— главным образом в Западной Европе, все более или менее равнинные почвы, кроме некоторых песчаных (боровых), давно лишены лесов. Последние же преобладают в горах, где... леса действительно увлажняют, задерживая более бурный сток, конденсируя влагу и укрепляя водоемкий назем (почву).

Затем в лесах каждый малый ручеек, не говоря уже о более крупных водотоках, очень хорошо сохраняет свой желоб. Он может довольно глубоко врезаться в грунт и удерживать от бокового размыва, обвалов и заносов свои берега и русла», а при уничтожении лесов, говорит Высоцкий, водотоки и мелкие реки могут заноситься и скрываться в наносах⁶¹. Но именно это влияние вырубки леса на источники, как отмечает известный гидрогеолог П. В. Отоцкий, оставалось неисследованным и даже игнорировалось сторонниками обводняющей роли леса, как игнорировалось ими значение транспирации при осушении болот через облесение, когда факт осушающего действия леса объяснялся ими не транспирацией, а дренированием грунтов корнями деревьев⁶².

Для обоснования теории водоохранного значения леса иностранные, а вместе с ними и русские приверженцы этой теории обычно ссылались на многочисленные исторические свидетельства. Подобного рода ссылки в изобилии имеются, например, в таких сочинениях иностранных авторов, как «Человек и природа» Г. Марша (1864) и «Дерево и лес» М. Шлейдена (1870).

В статье «Способствует ли разведение лесов уничтожению засух?» известный русский ученый П. А. Костычев, оценивая характер литературы о гидрологической роли леса, писал в 1876 г.: «Только прочитавши самые знаменитые сочинения по

⁶⁰ Г. Марш. Человек и природа. СПб., 1866, стр. 174.

⁶¹ Г. Н. Высоцкий. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. М., 1938, стр. 54.

⁶² П. В. Отоцкий. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, ч. 2. СПб., 1905, стр. 7 и 14.

этому вопросу поневоле, наконец, приходишь к заключению, что все факты, приводимые в доказательство благотельного действия леса, или совершенно неверны, или ничем не доказаны, или совсем не относятся к вопросу. Везде явные натяжки произвольные толкования, хромые силлогизмы, так что занятие этой литературой производит самое безотрадное впечатление»⁶³. П. А. Костычев на примере работы Шлейдена, показывает сомнительность многих использованных им исторических свидетельств.

На свой вопрос, поставленный в заглавии статьи, П. А. Костычев отвечает отрицательно. Он считает, что «тратить деньги на разведение лесов, имея в виду только улучшение климата, значит, тратить их положительно даром»⁶⁴. А вот его мнение по поводу влияния лесоистребления на водность рек: «Истребление лесов по берегам рек, вероятно, может быть причиною обмеления их, но это обмеление будет обуславливаться не уменьшением воды, а только разве большим засорением рек» и «не имеет ничего общего с климатическими условиями»⁶⁵.

Проблема значения леса в круговороте воды вновь привлекла повышенное внимание к себе в начале 70-х годов. Интерес к ней был вызван австрийским инженером-гидротехником Г. Вексом, подавшим в 1873 г. в Венскую Академию наук записку «Об убыли воды в реках и ручьях и о сопровождающем это явление усилении половодий». В своей записке Векс, на основании многолетних гидрометрических данных по рекам Германии и Австро-Венгрии, приходит к выводу о постепенном обмелении рек, полагая, что это явление имеет место и в других странах Европы и мира. Главной причиной понижения уровня и уменьшения массы воды, протекающей в реках, Векс считал истребление лесов. Он допускал, что вследствие этого должно уменьшаться количество атмосферных осадков. В числе других причин убыли речной воды Векс называл: осушение болот, спуск озер и прудов; увеличение площади полей с культурными растениями; вырубку лесов на возвышенностях; увеличение народонаселения и количества домашних животных.

Комиссия Венской Академии наук согласилась с Вексом относительно уменьшения протекающей в реках воды, но признала преувеличенным мнение о влиянии леса на количество выпадающей влаги. Комиссия признала несомненным влияние лесов на задерживание влаги и на регулирование уровня половодий.

⁶³ П. Костычев. Способствует ли разведение лесов уничтожению засух. «Отечественные записки», 1876, № 3, стр. 3.

⁶⁴ Там же, стр. 32.

⁶⁵ Там же, стр. 26.

Некоторыми крупными гидрографами было указано на то, что понижение высоты уровня в данном месте еще не обязательно должно означать уменьшение количества протекающей воды. Понижение уровня может быть следствием деформаций ложа русла и его искусственного углубления.

Записка Г. Векса обсуждалась и в русской Академии наук. Выделенная ею комиссия, как это видно из «Донесения» Гельмерсена и Вильда⁶⁶, прочитанного на заседании Академии 27 января 1876 г., свое мнение по записке Векса выразила в ответах на следующие два вопроса: 1) уменьшилось ли в историческое время абсолютное количество ежегодно протекающей по рекам воды? и 2) изменилось ли более или менее значительно распределение воды по временам года, независимо от изменения его годового количества?

«Утвердительного ответа на первый вопрос, — говорится в донесении, — для всех рек земли едва ли можно ожидать, т. к. в этом случае необходимо должно бы было повсеместно уменьшиться и количество выпадающей влаги, чего при постоянстве больших водных пространств океанов и при постоянстве главных течений атмосферного воздуха допустить нельзя». Ответ комиссии на второй вопрос гласит, что «леса и болота должны, бесспорно, считаться регуляторами атмосферной влаги и количества стекающей по рекам «воды» и, следовательно, «истребление лесов и осушение болот, — как это подтверждает, по-видимому, и опыт, — должны производить более неравномерное против прежних лет распределение стекающих по обнаженной местности в продолжение года речных вод».

С этими выводами академической комиссии совпадают и выводы В. В. Докучаева, к которым приходит он в своем докладе о предполагаемом обмелении рек Европейской России, сделанном в декабре 1876 г. в Петербургском собрании сельских хозяев. Критически разбирая различные доказательства, приводимые в пользу мнения об обмелении рек, а именно террасное строение речных долин, замечаемое сужение прибрежной территории, затопляемой во время половодий, понижение высоты уровня в некоторых реках, ссылки на жалобы судовладельцев и, наконец, исторические свидетельства, В. В. Докучаев приходит к заключению: «действительное обмеление ни одной из русских рек не доказано до сих пор фактически!»⁶⁷. Что касается вопроса о влиянии вырубки лесов на реки, то прежде всего В. В. Докучаев отмечает, что малая лесистость юга Рос-

⁶⁶ Г. Гельмерсен, Г. Вильд. Донесение комиссии, рассматривавшей записку Г. Векса об уменьшении количества воды в источниках и реках. СПб., 1876.

⁶⁷ В. В. Докучаев. Об обмелении рек в Европейской России. «Заседания С.-Петербургского собрания сельских хозяев», 1876, № 7, стр. 10.

сии имеет глубокую историческую древность, между тем, именно о реках юга настойчиво утверждают, что они мелеют от лесосостребления. Не подлежит сомнению быстрое истребление лесов в нечерноземной полосе. Но последствиями этого, по мнению В. В. Докучаева, может быть лишь то, что 1) ухудшатся условия конденсации водяных паров из воздуха и 2) усилятся весенние половодья и снесение в реки продуктов размыва почвы. Однако по поводу первого положения Докучаев добавляет, что увеличение влажности за счет конденсации лесом паров из воздуха парализуется огромной испаряющей способностью леса.

Докучаев говорит, что «защитникам непосредственного влияния лесов на количество выпадающих в данной местности атмосферных осадков не нужно было бы забывать того основного положения метеорологии, что только океан и ветры должны быть признаны мощными и едва ли не единственными регуляторами количества влаги в данной стране»⁶⁸.

Положения, выдвинутые Вексом, нашли у нас поддержку со стороны А. И. Воейкова. В докладе «Реки России», прочитанном 24 сентября 1882 г., А. И. Воейков говорил: «Нет сомнения, что и в России, по крайней мере в черноземной и степной полосе, распашка лесов, лугов и степей имеет заметное влияние на уменьшение количества проточной воды, особенно летом». Это уменьшение проточной воды он объяснял большей, по сравнению с лесом и степью, испаряющей силой культурных растений, особенно широколистных (кукуруза, клевер, бобовые). Подчеркивая громадное влияние леса на кругообращение воды на земном шаре и на климат, Воейков видел его главным образом в том, что лес ослабляет ветры, замедляет поверхностный сток, способствует впитыванию влаги почвой, защищает реки от засорения, но он не считал лес очень активным испарителем почвенной влаги.

Об умеренности испарения лесом в средних широтах А. И. Воейков говорит и в своем классическом труде «Климаты земного шара, в особенности России». Здесь же он выступает сторонником мнения, что над лесом выпадает больше осадков. То же самое он утверждает в статье «О влиянии растительности на количество выпадающих осадков (дождя и снега)» (1888), говоря, что «близость вод и древесной растительности увеличивает количество летних осадков». Однако вопрос о влиянии леса на атмосферные осадки переходит как спорный и в XX в.

Выступление Векса подверглось критике с новых позиций в вышедшей в 1890 г. в Вене работе Э. Брикнера «Klimaschwankungen seit 1700».

⁶⁸ Там же, стр. 13.

Гидрологические явления, которые Векс истолковал как процесс прогрессивного высыхания рек в результате истребления лесов, Брикнер объяснял открытой им цикличностью в изменениях климата.

Подтверждением выведенной Брикнером цикличности явился, в частности, сухой период с очень засушливым 1890 г. В результате засухи 1890 г. многие губернии России постиг очередной неурожай. В связи с этим бедствием передовые ученые, и среди них А. И. Воейков, В. В. Докучаев, П. А. Костычев и другие, обратили серьезное внимание на необходимость проведения широких мероприятий по борьбе с постоянным бичом сельского хозяйства России — засухой. То, что предлагалось В. В. Докучаевым, изложено в его работе «Наши степи прежде и теперь», седьмая глава которой посвящена способам упорядочения водного хозяйства в степях России. Здесь В. В. Докучаев утверждает, что наша черноземная полоса подвергается медленному, но неуклонно прогрессирующему иссушению. Причину этого иссушения он видит в том, что «леса, защищавшие местность от размыва и ветров, скоплавшие снега, способствовавшие сохранению почвенной влаги, а вероятно, и поднятию горизонта грунтовых вод, охранявшие ключи, озера и реки от засорения, уменьшавшие размеры и удлинявшие продолжительность весенних водополей, — эти, можно сказать, важнейшие, наиболее надежные и верные регуляторы атмосферных вод и жизни наших рек, озер и источников, места уменьшились в 3—5 и более раз»⁶⁹.

В качестве одной из мер для сохранения живительной влаги в степной зоне В. В. Докучаев предлагал «насадить ряды живых изгородей», а «неудобные для пашни участки засадить сплошным лесом». Таким образом, взгляд В. В. Докучаева на гидрологическую роль леса изменился, по сравнению с 1876 г., как видно, коренным образом.

То же самое можно сказать и о взгляде П. А. Костычева на гидрологическую роль леса, который писал в 1893 г., что «разведение лесных насаждений следует признать весьма важным средством для скопления влаги»⁷⁰.

В те годы, когда В. В. Докучаев призывал к искусственному лесоразведению в черноземных степях, в ряде мест южной, а затем северной и средней полосы Европейской России его учеником П. В. Отоцким были начаты полевые исследования грунтовых вод. Уже первые опыты Отоцкого дали совершенно неожиданный результат: грунтовые воды в лесу стоят ниже,

⁶⁹ В. В. Докучаев. Наши степи прежде и теперь. СПб., 1892, стр. 418.

⁷⁰ П. А. Костычев. О борьбе с засухами в черноземной полосе посредством обработки полей и накопления на них снега. СПб., 1893.

чем в открытом поле. Дальнейшими исследованиями Отоцкого, а также Г. Н. Высоцкого и Г. Ф. Морозова этот факт полностью подтвердился. В результате наблюдений за влажностью почвы в Велико-Анадольском лесничестве около Мариуполя (ныне г. Жданов) в 1892—1899 гг. Высоцкий пришел к следующим выводам, подтвержденным также и Морозовым⁷¹: 1) поверхность почвы наиболее иссушается там, где она совершенно открыта, т. е. на черном пару, затем на целине и поле и менее всего под лесом; 2) почва наиболее иссушается под травяной целиной, затем под полем, далее под лесом и менее всего под черным паром; 3) подпочва (грунт) наиболее иссушается под лесом, затем под целиной, под полем и менее всего под черным паром.

Опытами Высоцкого, как и более ранними опытами А. А. Измаильского, был установлен предел промокания почвы (2—4 м), ниже которого идет почти неизменяющийся по влажности мертвый горизонт иссушения. Правда, такой горизонт, как замечает Отоцкий, может быть лишь «при известных климатических условиях и при более или менее глубоком залегании грунтовых вод»⁷².

Общий вывод, к которому приходит П. В. Отоцкий, обобщая в монографии «Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение» десятилетние исследования, таков: «Леса не только не накапливают запасов подпочвенной влаги, но, растративши на испарение свою, полученную непосредственно из атмосферы, они, по-видимому, склонны позаимствовать некоторое количество влаги у прилегающих открытых мест»⁷³.

Говоря о том, что транспирация влаги лесом близка к годовому количеству выпадающих осадков, Отоцкий отмечает, что «в холодных и влажных северных областях чаще встречаются отклонения в сторону уменьшения, напротив, в более низких широтах величина транспирации чаще превосходит (иногда значительно) годовую сумму осадков»⁷⁴. Он указывает также на различие в характере влияния леса на грунтовые воды в зависимости от того, как глубоко они залегают. Если грунтовые воды лежат ниже мертвого горизонта, то они очень мало расходуются на транспирацию, а пополнение этого расходавания происходит не сверху, а со стороны. Это — один тип лесов. Другой тип — леса с неглубоким залеганием грунтовых вод.

⁷¹ Г. Морозов. Влажность почвы под насаждениями Хреновского бора. «Сельское хозяйство и лесоводство», 1900, т. 196, № 3.

⁷² П. В. Отоцкий. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, ч. 2. СПб., 1905, стр. 281.

⁷³ Там же, стр. 259.

⁷⁴ Там же, стр. 297.

В них режим грунтовых вод, во-первых, отражает на себе влияние атмосферных осадков и, во-вторых, характеризуется весьма резким падением уровня в вегетационный период. В заключение своих выводов о гидрологической роли леса П. В. Отоцкий заявляет: «Учение об обводняющей деятельности леса есть физико-географическая идеология, опрокидываемая точными наблюдениями и открытиями»⁷⁵.

Вопрос о роли леса в питании рек нашел освещение в трудах работавшей в 90-х годах экспедиции Министерства земледелия и государственных имуществ по исследованию источников важнейших рек Европейской России. Известный геолог С. Н. Никитин, стоявший во главе гидрогеологического отдела экспедиции, определенно высказался в пользу признания за лесом водоохранного значения. Результаты опытов Отоцкого он встретил с недоверием и пытался опровергнуть их собственными опытами. Но, судя по заметке Отоцкого «Своеобразная гидрогеология г-на Никитина» (1898), опровержения не получилось: опыты Никитина также показали понижение уровня грунтовых вод под лесом.

Новым эпизодом в борьбе двух мнений о гидрологическом значении леса явилось обсуждение этого вопроса в 1905 г. в Гидрологическом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ. Поводом для обсуждения явилась поданная Н. М. Герсевановым министру путей сообщений записка «О мерах для предупреждения ущерба, могущего оказаться в судоходной способности Волги вследствие постройки железной дороги» (Бологое — Полоцк). В этой записке он предлагал принять меры «против вырубки лесов и осушения болот, питающих в настоящее время верхнюю Волгу».

Выступивший при обсуждении записки⁷⁶ Г. Н. Высоцкий сказал, что летний исток грунтовых вод из-под леса, при прочих равных условиях по крайней мере не больше, чем из-под безлесных площадей. Отмечая важную роль леса в предохранении почв от размыва, а также некоторое небольшое влияние его на влажность воздуха и на количество выпадающих осадков, он признал необходимость «некоторой бережливости по отношению к лесным пространствам по всей равнине нашей, но не преимущественно в той или другой местности ее».

Представитель общепринятого взгляда на лес как на хранителя влаги, В. М. Лохтин в своем выступлении обвинил сторонников противоположного мнения о лесе в том, что они «взяли на себя благодарную задачу борьбы с убеждением о необходимости его защиты».

⁷⁵ П. В. Отоцкий. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, ч. 2. СПб., 1905, стр. 299.

⁷⁶ ЦГИАЛ, ф. № 426, оп. 1, д. 243.

Гидрологический комитет пришел к заключению, что «обсуждаемый вопрос в общей своей постановке представляется настолько сложным и затрагивает столь разнообразные интересы, что высказать окончательное по оному суждение, на основании приведенных объяснений, представлялось бы преждевременным».

Представляет значительный интерес поданная тогда в Гидрологический комитет записка Е. В. Оппокова «К вопросу о влиянии лесов и болот на питание рек в связи с новейшими данными по исследованию речного стока» (1905).

В своей записке Оппоков приходит к следующему выводу о гидрологической роли леса: «В средней полосе влияние леса на питание рек является, безусловно, отрицательным в годы засухи, становится почти безразличным, т. е. близким к нулю, в средние годы и, может быть, даже оказывается в общем положительным (если лес накапливает больше влаги, чем расходует) в дождливые годы; на юге оно, по-видимому, всегда отрицательно, а на севере, может быть, даже по преимуществу положительно». Е. В. Оппоков признавал за лесом некоторое влияние его на ослабление весенних половодий и некоторые другие его положительные гидрологические свойства.

Но даже и эту, хотя бы ограниченную роль леса в питании и режиме рек отрицал в своей статье в 1908 г. известный географ Д. Н. Анучин. Мнение, что снег в лесу тает медленнее и что сток в лесу замедляется, он считал сильно преувеличенным, «как и то, что леса способствуют большему питанию рек в межень». «Летом, — писал он, — лес... сам требует много влаги, отнимая ее от почвы, а весной, при массе тающего снега, он не в состоянии задерживать эту талую воду настолько, чтобы устранить наводнения»⁷⁷.

Из работ по интересующему нас вопросу в дореволюционное время укажем еще на статью Г. Н. Высоцкого «О гидроклиматическом значении лесов для России» (1911) и монографию Э. М. Ольдекопа «Об испарении с поверхности речных бассейнов» (1911).

Г. Н. Высоцкий, исходя из положения Э. Брикнера о том, что осадки внутри континентов на $\frac{7}{9}$ образуются из испарений в периферических частях суши и лишь в малой доле из паров, непосредственно приходящих с океанов, признает за лесом первостепенную роль в процессе внутриконтинентального переноса влаги и увлажнении климата страны.

Э. М. Ольдекоп, как видно, вполне разделял взгляды Отоцкого и Высоцкого. Он писал, что «при прочих равных условиях

⁷⁷ Д. Н. Анучин. Наводнение в Москве 1908 года и вопрос об изучении наводнений в России. «Землеведение», 1908, кн. II, стр. 100.

сток с поверхности бассейна, покрытого лесом, будет меньше, чем с бассейна с другим видом растительности»⁷⁸. Рассматривая влияние леса на грунтовое питание рек, иначе говоря, его регулирующую роль, Ольдекоп указывал на то, что это влияние зависит от взаимодействия двух родов факторов: отрицательных (более сильное испарение в лесу, задержание осадков кронами деревьев) и положительных (замедление таяния снега и поверхностного стока). «Очевидно,— говорил он,— что характер влияния леса на грунтовое питание реки будет зависеть от того, преобладает ли действие первых или вторых факторов. По-видимому, в природе встречается и то, и другое. Преобладающего влияния испарения, уменьшающего грунтовое питание, мы можем ожидать в равнинных и более или менее сухих странах с незначительным поверхностным стоком. Факторы же второго рода, увеличивающие грунтовое питание, будут преобладать в областях, обильно орошаемых, с значительным поверхностным стоком, например, на горных склонах»⁷⁹.

Таким образом, дореволюционная литература, трактующая вопрос о гидроклиматических свойствах леса, отразила два совершенно различных взгляда, причем трудно найти единые даже по таким свойствам, которые кажутся бесспорными, например, влияние леса на замедление снеготаяния»⁸⁰.

Остановимся теперь в нескольких словах на истории дискуссионного вопроса о гидрологической роли болот.

Еще А. Гумбольдтом было высказано мнение, что болота влияют на питание рек как ледники, т. е. являются хранителями воды, которую они летом отдают рекам.

Едва ли не большинство авторов, касавшихся вопроса о гидрологической роли болот даже в самом конце XIX в., разделяло это мнение. Как уже указывалось, среди русских авторов сторонниками благотворного влияния болот на питание рек были, например, такие крупные ученые и знатоки водного хозяйства России, как С. Н. Никитин и Н. И. Максимович. Еще раньше

⁷⁸ Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911, стр. 100.

⁷⁹ Там же, стр. 108.

⁸⁰ Рассматриваемая проблема, естественно, продолжала привлекать внимание многих ученых и в советское время. К настоящему времени освещены многие стороны вопроса. Некоторые гидроклиматические свойства леса стали общепризнанными. Так, бесспорно для большинства увлажнительное влияние леса на климат; очевидна его противозероизирующая роль, т. е. защита источников и рек от заиления; несомненно значение леса в снижении высоты и удлинении времени весенних половодий. Но многие другие стороны проблемы все еще остаются спорными, в том числе и важный вопрос о влиянии леса на питание рек, который, говоря словами М. А. Великанова, может считаться выясненным лишь до некоторой степени.

опубликования своего фундаментального труда «Днепр и его бассейн» (1901), где подчеркивается значение болот в питании Днепра, Максимович на втором съезде инженеров-гидротехников (1893) поставил вопрос о неблагоприятном влиянии на водность Днепра осушительных работ в Полесье. Следует однако, сказать, что съезд, обсудив вопрос, воздержался от какого-либо определенного заключения по нему, ввиду отсутствия в то время необходимых длительных наблюдений. Впоследствии Н. И. Максимович под влиянием работ Е. В. Оппокова изменил свою точку зрения на гидрологическую роль болот, считая, что «если, быть может, влияние таких причин, как осушение болот и уменьшение площади лесов на режим стока в бассейне Днепра, и не может быть совершенно аннулировано, то все же, как доказывает автор (Е. В. Оппоков.— И. Ф.), они не могут играть почти никакой роли при совершенно подавляющем влиянии такой могущественной причины, как периодические колебания климата и выпадения в бассейне осадков»⁸¹.

Противниками мнения о положительной роли болот в питании рек были также известный русский ученый А. Ф. Миддендорф, крупный климатолог К. С. Веселовский, взглядов которых по рассматриваемому вопросу мы касались, когда говорили об осушительных работах в Полесье, видный болотовед Г. И. Танфильев, а также А. И. Воейков, который в отзыве о работах Оппокова писал, что «вредным заблуждением» является мнение, будто «болота составляют резервуары, откуда реки получают воду в меженное время, и что поэтому их осушение вредно, и нам пужно оставлять миллионы десятин под болота, дабы поддерживать высокий уровень воды в реках»⁸².

Е. В. Оппоков во многих своих работах последовательно отстаивал взгляд, что болота отрицательно влияют на питание рек. В статье «К вопросу о влиянии лесов и болот на питание рек в связи с новейшими данными по исследованию речного стока» Оппоков, отметив ряд положительных хозяйственных и гидрологических свойств леса, писал: «В отношении болот дело обстоит совсем иначе: а) болота не имеют в своем естественном виде почти никакой хозяйственной ценности; б) болота не только не служат для питания рек, а способствуют еще большей неравномерности речного стока, уменьшая меженное питание рек, и не только не ослабляя, но отчасти даже усиливая сток, т. к.

⁸¹ Рецензия Н. Максимовича на книгу Е. В. Оппокова «Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра, ч. 1». «Журнал Министерства путей сообщения», 1904, кн. 7, стр. 183.

⁸² Отзывы о научных работах профессора Киевского политехнического и Киевского сельскохозяйственного институтов Е. В. Оппокова в области гидрологии и мелиорации и дополнительный список печатных трудов за 1927 и 1928 г. Киев, 1929, стр. 4.

болота, насыщенные водой, становятся водонепроницаемыми и могут влиять на сток ускоряющим образом; с) болота в противоположность лесу вредны в хозяйственном и в гигиеническом отношении; d) заботясь о благополучии рек данного бассейна, надо не охранять от осушения, а дренировать болота и отводить из них воду».

Следует сказать, что горячие споры по вопросу о гидрологической роли болот имели не только научное, но также и практическое значение. А. Д. Дубах отмечает, что в конце прошлого века перевес мнения о благотворном влиянии болот на реки привел к тому, что «государственные осушительные работы временно были почти прекращены»⁸³.

В советское время многие вопросы гидрологии болот, особенно благодаря трудам А. Д. Дубаха, получили опытное и теоретическое освещение, однако некоторые стороны проблемы продолжают выясняться⁸⁴.

Рассмотрев развитие представлений о факторах речного стока, мы далее остановимся на истории вопроса о расчетах максимальных расходов дождевых и снеговых вод.

Определение величины максимальных расходов воды, образующихся в результате весеннего снеготаяния или ливней, имеет исключительно важное практическое значение, так как по максимальным значениям стока определяются размеры водопропускных отверстий под железными и шоссейными дорогами, размеры сбросных сооружений водохранилищ, сечения труб городской канализации и каналов осушительной сети.

Важность задачи расчета водопропускных отверстий на максимальные расходы определяется тем, что эти отверстия, с одной стороны, должны отвечать условию безопасности сооружений, т. е. не должны быть преуменьшены, с другой, — условию экономичности.

История развития методов расчета максимальных расходов особенно наглядно показывает связь науки с производством, инженерную направленность в развитии важнейшего раздела гидрологии суши — учения о стоке.

Впервые потребность в расчетах максимальных расходов появилась в России во второй половине XIX в., когда в стране, вступившей на путь капиталистического развития, развернулось усиленное строительство железных дорог.

В начальный период железнодорожного строительства расчеты водопропускных отверстий не были обусловлены какими-либо нормативами. Первая попытка ввести нормативы относится к концу 1877 г., когда Техническо-инспекторский комитет железных дорог издал циркуляр, касающийся определения рас-

⁸³ А. Д. Дубах. Очерки по гидрологии болот. Л., 1936, стр. 77.

⁸⁴ К. Е. Иванов. Гидрология болот. Л., 1953.

четных расходов снеговых максимумов⁸⁵. Однако в последующее время в ведомстве путей сообщения большее внимание уделялось разработке методов расчета не снеговых, а ливневых максимумов, что объясняется большим количеством мелких водопропускных сооружений, строившихся на железных и шоссейных дорогах, а для сооружений, обслуживающих небольшие водосборные площади, опасность представляют именно ливневые расходы.

Непосредственным поводом, заставившим Министерство путей сообщения обратить серьезное внимание на расчеты ливневых вод, явилось большое железнодорожное крушение, случившееся 30 июня 1882 г. на 296 версте Московско-Курской железной дороги и получившее по имени места события название «Кукуевской катастрофы». Крушение поезда произошло из-за размыва насыпи в результате редкого по интенсивности ливня, длившегося с 6 часов вечера 29 июня до 10 часов утра 30 июня, т. е. 16 часов подряд и образовавшего слой воды, равный 0,1455 м. Наиболее сильным ливень был с 10 часов вечера до 2 часов ночи и, по подсчетам А. Пушечникова, за эти 4 часа дал слой воды 0,115 м, т. е. имел среднюю интенсивность 0,48 мм/мин. Лежавшая под насыпью чугунная труба диаметром 0,5 сажени не смогла справиться с отводом массы скопившейся воды, и под напором воды насыпь была разрушена.

Несчастный случай 30 июня 1882 г. явился поводом для опубликованной год спустя интересной статьи инженера А. Пушечникова «О расчете отверстий сооружений»⁸⁶, в которой он впервые в русской технической литературе обстоятельно освещает вопрос о расчете ливневых максимумов. Рассматривая данные о ливнях в России и других странах, Пушечников приходит к заключению, что ливень 30 июня 1882 г. «есть результат необыкновенно редкого совпадения причин, благоприятствующих обильному выпадению осадков» и может быть принят для России, за исключением приморских и гористых местностей, весьма близко подходящим к наибольшему. На основании данных о высоте подпоров и объемах воды, скопившейся перед водопропускными трубами, Пушечников определяет максимальные расходы воды во время ливня в 12 долинах района ливня, на которых имелись искусственные сооружения. При этом вычисление максимумов производится по формулам, выведенным с учетом регулирующего влияния аккумуляции воды перед отверстиями. Получив значения максимальных рас-

⁸⁵ А. Карачевский-Волк. Определение отверстий искусственных сооружений. М., 1899.

⁸⁶ А. Пушечников. О расчете отверстий сооружений, назначенных для пропуска вод под полотном дороги при пересечении ею долин небольших бассейнов. Журнал МПС «Инженер», 1883, т. III, кн. 14.

ходов для водотоков в районе ливня с площадями бассейнов от 0,5 до 22,5 кв. версты, Пушечников считает возможным рекомендовать для руководства при расчете водопропускных отверстий следующие расходы:

Площадь бассейна в кв. верстах	Расход в куб. саженях с 1 кв. версты	
	для бассейна с пологими скатами	для бассейна с крутыми скатами
5	0,55	0,70
5—10	0,50	0,65
10—20	0,40	0,55
20—30	0,30	0,45

Отнесение бассейнов к той или другой категории было обусловлено следующим образом: «Если мы отделим от всей площади A бассейна такие его части, которые не имеют общего ската к долине, и те, общий уклон которых не превышает 0,003, затем определим площадь и этих частей бассейна и если $\omega \geq \frac{A}{3}$, то такие бассейны будем называть бассейнами с пологими скатами в отличие от бассейнов с крутыми скатами, для которых

$$\omega < \frac{A}{3}.$$

Спустя два года после крушения 30 июня 1882 г. Министерство путей сообщения предложило расчет отверстий на ливни вести на основе формулы австрийского инженера Кестлина, опубликованной в 1868 г. в журнале Общества инженеров и архитекторов (Вена). Формула Кестлина имеет следующий вид:

$$Q = 1,875\alpha F \text{ куб. саж. в секунду.}$$

В этой формуле коэффициент 1,875 выражает количество дождевой воды в куб. саженях, выпадающей в 1 сек. на площади в 1 кв. версту при интенсивности ливня 0,96 мм/мин. Ливень такой интенсивности, принятой Кестлином в качестве предельной нормы, был в действительности в горном округе Банат, в районе трансильванских Альп. Он продолжался 10 минут и дал слой осадков 9,6 мм. Коэффициент α представляет собой долю осадков, достигающих расчетного створа. Он образован как произведение обычного коэффициента стока, принятого Кестлином равным 0,50 для обыкновенных условий и 0,57 для

скал, на коэффициент уменьшения стока с единицы площади по мере возрастания площади водосбора и находится в следующих соотношениях с размерами последней:

Длина бассейна (в верстах)	$0-3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}-7$	$7-10\frac{1}{2}$	$10\frac{1}{2}-14$	$14-17\frac{1}{2}$
Коэффициент α	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}-\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$

Формула Кестлина может применяться лишь для бассейнов длиной не более 21 версты (3 мили).

Как видно из таблицы, по Кестлину, к концу расчетной продолжительности ливня $T=10$ минут к заданному створу будут притекать воды с площадей, удаленных от створа не более, как на $3\frac{1}{2}$ версты. Эту предельную длину площади полного стока Кестлин получил, приняв скорость добегаания воды до створа $v = 2,92$ сажени в секунду (6,23 м), что, конечно, является чрезмерным преувеличением.

Для бассейнов с уклоном менее 0,005 вычисленный по формуле расход предлагалось уменьшать вдвое.

А. Карачевский-Волк, сопоставляя в своей работе «Определение отверстий искусственных сооружений» нормы ливневых расходов Пушечникова, Кестлина и другие, считает, что нормы первых двух, мало отличающиеся друг от друга, «более вероятны», причем при площади бассейнов около 50 кв. верст они приближаются к расходу весенних вод по формуле автора (мы приведем ее ниже).

Рассматривая новые данные о ливнях, Карачевский-Волк считает кукуевский ливень редким исключением. Из этого ливня он и выводит нормы максимальных расходов ливневых вод. Используя данные Пушечникова, он путем подбора находит уравнение кривой зависимости расхода от площади:

$$Q = \frac{10F}{F + 10,66} \text{ куб. саж. в секунду.}$$

Для других интенсивностей ливня формула принимает вид:

$$Q = \frac{10F}{F \frac{10}{d}},$$

где d — количество осадков, выпадающих в 1 сек. на 1 кв. версту в куб. сажених (для кукуевского ливня $d=0,938$).

Хотя в этой формуле расход с единицы площади представлен как функция величины площади и интенсивности ливня,

Карачевский-Волк отмечает, что расход ливня зависит от очень многих факторов, и в частности от топографических условий, характера почвы и растительного покрова, условий испарения и просачивания воды, а также от степени равномерности распространения ливня по площади. О своей формуле Карачевский-Волк говорит, что, поскольку она выведена из фактических данных, она может дать представление о совокупном влиянии всех факторов.

Нормы ливневых максимумов, основанные на формуле Кестлина, во многих случаях не могли отвечать конкретным, весьма разнообразным условиям различных местностей России. Основным недостатком формулы Кестлина является случайный выбор расчетной интенсивности и продолжительности ливня. Затем, в этой формуле не получил отражения ряд других только что названных факторов.

Ввиду малоудачного и недостаточно гибкого подбора коэффициентов формула Кестлина для средних условий давала преувеличенные, а для неблагоприятных условий — скалистых и крутых бассейнов, интенсивных ливней — преуменьшенные значения расчетных расходов. Естественно, что в ряде случаев приходилось разрешать некоторые отступления от формулы, отвечающие местным условиям.

В своей работе 1916 г. «Определение отверстий малых мостов» один из видных специалистов по ливневым нормам профессор Г. Д. Дубелир, задаваясь вопросом, каким образом формула Кестлина давала хотя и преувеличенные, но все же достаточно правдоподобные результаты, объясняет это тем, что входящие в формулу преуменьшенные значения одних величин (интенсивности и продолжительности ливня) и преувеличенные значения других величин (коэффициента α и скорости стока) дают в произведении меньший процент ошибки, чем каждый множитель в отдельности. В общем же нормы Кестлина, как говорит Дубелир в своей другой работе⁸⁷, «с некоторым запасом отвечали приблизительно средним условиям стока».

Серьезное крушение поезда, случившееся 18 июля 1900 г. на Харьковско-Балашовской железной дороге вследствие размыва насыпи ливневой водой, заставило Министерство путей сообщения подвергнуть нормы Кестлина пересмотру. Этот пересмотр происходил очень медленно и лишь в 1911 г. закончился внесением в нормы некоторых поправок, предложенных в 1906 г. профессором Л. Ф. Николаи. Формула Кестлина — Николаи получила вид:

$$Q = 1,875 \alpha \beta F^2 \text{ — в саженных мерах}$$

⁸⁷ Г. Д. Дубелир. О нормах стока ливневых вод. «Труды НКПС», 1926, вып. 26, стр. 18.

или

$$Q = 16 \alpha \beta F \text{ — в метрических мерах.}$$

Что касается коэффициента α , то Николай дифференцировал его не по пяти, как у Кестлина, а по девяти градациям площадей и увеличил его значения, особенно для бассейнов малой длины, от $1/2$ версты до $3 1/2$ верст.

Однако, как полагает Дубелир, в увеличении коэффициента необходимости не было (поскольку он и без того имел преувеличенные значения).

Введением коэффициента β Николай отразил в формуле влияние на максимальный расход уклона бассейна, который раньше учитывался лишь очень грубым образом: для бассейнов с уклоном менее 0,005 расход уменьшался сразу вдвое. Как отметил Г. Д. Дубелир, коэффициентом β Николай изменил жесткие нормы Кестлина в пять раз в сторону уменьшения (для уклона $i=0,001$) и в $1 1/2$ раза в сторону увеличения (для уклона $i=0,050$).

Сопоставляя нормы Кестлина — Николаи с некоторыми немецкими, французскими и американскими нормами, Дубелир показал, что «пределы коэффициентов Николаи в общем совпадают с такими же наибольшими и наименьшими пределами норм, применяемых за границей»⁸⁸.

При пересмотре норм Кестлина инженер Б. А. Риппас, сменивший Николаи после его смерти, в качестве докладчика в Инженерном совете Министерства путей сообщения по вопросу о новых нормах предложил следующую формулу для ливневых максимумов:

$$Q = 16,7 \left(\frac{H - \Sigma i}{t} \right) \varphi F,$$

где H — слой осадков в мм за время t , Σi — слой потерь на поглощение почвой, φ — коэффициент полноты стока, F — площадь бассейна.

В 1909 г., пишет Е. В. Близняк⁸⁹ местным органам путей сообщения и отдельным специалистам были разосланы как нормы Николаи, так и предложение Риппаса. В большинстве заключений нормы Николаи были признаны рациональными и удобными для применения, но требующими проверки коэффициентов. Предложение Риппаса не встретило поддержки как практически неприменимое вследствие своей сложности, хотя в теоретическом отношении признавалось правильным.

⁸⁸ Там же.

⁸⁹ Е. В. Близняк. К вопросу о пересмотре формул для определения норм стока ливневых вод. «Труды НТК НКПС», вып. 26, 1926, стр. 12.

Действовавшие в течение 40 лет на русских железных и шоссежных дорогах нормы Кестлина с поправками Николаи, отмечал Дубелир, с точки зрения безопасности за единичными исключениями себя оправдали.

Рассматривая вопрос о нормах ливневых расходов с чисто практической стороны, в отношении экономичности определенных по ним отверстий, а не с теоретической стороны, Дубелир считал, что «вопрос может идти скорее о некотором улучшении действующих норм, в смысле введения в них большей гибкости для разнообразных условий обширной территории СССР, чем о коренном изменении самого существа этих норм»⁹⁰.

Следует отметить, что структура формулы Кестлина была оставлена без изменения в разработанной Г. Д. Дубелиром при участии Е. В. Близняка, Д. И. Кочерина и других расчетной формуле, принятой в 1928 г. НКТ НКПС взамен формулы Кестлина — Николаи.

Принципиальная необоснованность норм Кестлина и Кестлина — Николаи была подвергнута обстоятельной критике Н. Е. Долговым в его капитальном труде «О нормах Кестлина и несоответствии этих норм результатам наблюдений над ливнями на Екатерининской железной дороге», вышедшем тремя выпусками в 1903, 1914 и 1915 гг. Но прежде чем остановиться на этом труде, мы коснемся некоторых работ, в которых делались первые попытки теоретической разработки вопроса о ливневом стоке.

Первое в русской технической литературе теоретическое исследование ливневого стока с помощью математического анализа принадлежит Ф. Г. Зброжеку, опубликованному в 1901 г. в журнале Министерства путей сообщения статью «Сток атмосферных осадков». В начале статьи Зброжек замечает, что возможность общего рассмотрения вопроса явилась в результате обширных гидротехнических исследований, проведенных Экспедицией по исследованию главнейших рек Европейской России в бассейне верховьев Оки.

Зброжек рассматривает простейший случай стока, происходящего от отдельного ливня с постоянной интенсивностью. Поверхность, по которой происходит сток, он схематизирует в виде двух плоскостей с равномерными скатами к прямолинейному тальвегу АС.

Наибольшую величину секундного расхода от ливня Зброжек рассматривает в зависимости от соотношения между продолжительностью ливня и временами добегания воды к рассматриваемому створу по наиболее длинным путям, которые (времена) зависят от размеров бассейна (длины, ширины) и

⁹⁰ Г. Д. Дубелир. О нормах стока ливневых вод. «Труды НКТ НКПС», вып. 26, стр. 12.

скоростей стока по скатам и по руслу. При этом скорости стока по скатам принимаются пропорциональными скорости движения воды по тальвегу.

Зброжек анализирует различные случаи соотношений между временами добегаания стока и временем выпадения дождя. Он находит для этих случаев наибольшие площади одновременного стока и наибольшие секундные расходы, причем наибольшие площади одновременного стока выражаются через средние скорости течения воды по склонам. Зброжек приходит к выводу, что «в предположении дождя равномерной интенсивности, плоских скатов и таких средних скоростей стока по скатам и тальвегу, что отношение между ними выражается числовыми коэффициентами, наибольший расход стока определяется вообще формулой:

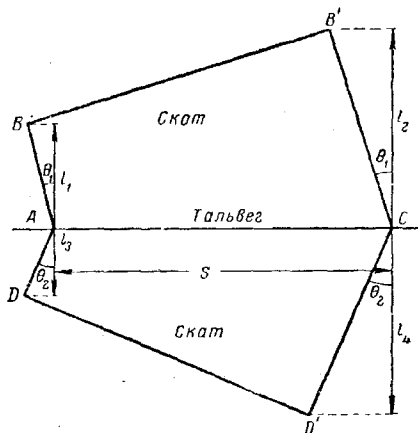


Схема водосборного бассейна в анализе стока Ф. Г. Зброжека

(Схема взята из статьи Ф. Г. Зброжека «Сток атмосферных осадков»)

$$q_{\max} = C u_0^2 T H.$$

В этой формуле C — коэффициент, получающий различные значения в зависимости от отношения времени стока (добегаания) к времени выпадения дождя; u_0 — средняя скорость течения воды по тальвегу; T — продолжительность дождя в минутах; H — слой осадков в мм.

В малых бассейнах, для которых условие одновременного стока со всей площади выражается неравенством t_{\max} (время добегаания по наибольшему пути) $< T$, максимальный расход

$$q_{\max} = 1,953 \alpha \Omega \frac{H}{T} \text{ куб. саж. в секунду,}$$

где коэффициент 1,953 — количество осадков в куб. саженьях, выпадающих в 1 сек. на площадь в 1 кв. версту при интенсивности ливня 1 мм/мин, α — коэффициент стока, Ω — площадь бассейна в кв. верстах. Для определения расходов при других соотношениях между продолжительностью дождя и временами стока необходимо знать средние скорости движения воды по скатам и тальвегу. Эти скорости Зброжек получает из урав-

нения Сен-Венана для неустановившегося медленно изменяющегося движения, интегрируя его при следующих допущениях:

- 1) количество стекающей воды и потери воды на фильтрацию и испарение принимаются не зависящими от времени;
- 2) средняя скорость в живом сечении потока принимается в зависимости от расстояния до этого сечения от вершины тальвега:

$$v = v_0 + B\sqrt[n]{S},$$

где v_0 — некоторое постоянное значение скорости; B — постоянная положительная величина; $n=2$; S — расстояние от вершины тальвега;

- 3) линии продольных профилей скатов и тальвега принимаются в виде парабол.

В результате Зброжек находит для максимального расхода общее выражение следующего вида:

$$q_{\max} = CTN^3.$$

Наконец, Зброжек рассматривает влияние на максимальный расход неравномерности интенсивности ливня по площади бассейна и по времени и окончательно получает следующую формулу:

$$q_{\max} = \varphi DCTN^3,$$

в которой φ — коэффициент, учитывающий неравномерность интенсивности дождя по площади; D — коэффициент уменьшения расхода от неравномерности интенсивности дождя по времени; C и T имеют прежние значения; N — средневзвешенная высота слоя выпавшего дождя. Зброжек замечает, что произведение φD всегда меньше единицы. Таким образом, в формуле Зброжека неполнота стока выражается коэффициентами φ , D и C .

Потерю воды на испарение и фильтрацию в почву за короткое время ливня Зброжек считает ничтожно малой и поэтому принимает $\alpha=1$. В статье 1902 г. «О наибольшем расходе стока атмосферных осадков» одним из главных недостатков существующих формул Зброжек считал именно то, что они («по априорным предположениям учитывают в преувеличенном размере потери дождевой воды на испарение и фильтрацию»).

Надо сказать, что практическое применение формул Зброжека представляло большие затруднения ввиду сложности вычисления коэффициента C . Однако в теоретическом отношении статья Зброжека представляла определенный вклад в разработку методов расчета ливневых максимумов. Особенно ценным явился анализ вопроса о площади наибольшего стока в зависи-

мости от соотношения между временами добегания воды по скатам и тальвегу и временем выпадения дождя. Конечно, рядом допущений, начиная со схемы бассейна, Зброжек сильно упростил сложное явление дождевого стока. Но, несмотря на это, формула, примененная Зброжеком к вычислению шести ливневых максимумов Оки у Орла, дала результаты, близкие к полученным непосредственными измерениями. Для применения своей формулы Зброжек сначала по известным данным определил необходимые коэффициенты, а затем на основании сведений о ливнях (H , T) и полученных коэффициентов произвел вычисление максимальных расходов.

Попытку теоретического исследования ливневого стока мы находим в опубликованной в 1902 г. статье А. Бушмана «Сток дождевых вод в сухих оврагах»⁹¹ и в критических замечаниях на эту статью В. Вислоцкого⁹², указавшего на ошибочность некоторых допущений в анализе Бушмана.

Как уже указывалось, нормы Кестлина и Николаи, а также теоретические работы по ливневому стоку были подвергнуты критическому анализу Н. Е. Долговым в его обширном труде «О нормах Кестлина и несоответствии этих норм результатам наблюдений над ливнями на Екатерининской железной дороге». В вышедшем в 1908 г. первом выпуске этого труда Долгов приводит несколько случаев разрушений на Екатерининской железной дороге во время ливней вследствие того, что водопропускные сооружения были рассчитаны по преуменьшенным, по мнению Долгова, нормам Кестлина. Эти случаи заставили при постройке в 1902—1904 гг. 2-й Екатерининской железной дороги отказаться от норм Кестлина и для правильного определения расчетных расходов организовать наблюдения за ливнями в районе дороги. В результате изучения предельная интенсивность ливней была принята от 1 до 3 мм в минуту вместо 0,96 мм в минуту по Кестлину.

Рассматривая теоретические исследования ливневого стока, принадлежащие австрийскому инженеру О. Люгеру (1884), Ф. Г. Зброжеку и А. А. Бушману, Долгов указывает на неправомерность принятия Люгером и Бушманом скорости стекания ливневых вод как скорости равномерного движения жидкости и отмечает ценность исследования Зброжека, исходившего из предположения, что стекание происходит по закону неравномерного движения. Отмечая сложность выводов Зброжека, он вместе с тем считал, что «с практической стороны выводы чрез-

⁹¹ А. Бушман. Сток дождевых вод в сухих оврагах. «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1902, № 10; 1903, № 5.

⁹² В. Вислоцкий. По поводу статьи инженера А. А. Бушмана «Сток дождевых вод в сухих оврагах». «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1903, № 5.

«вычайно интересны»⁹³. Долгов замечает по поводу формулы Кестлина, что она является лишь частным случаем формулы Зброжека для малых бассейнов.

Главным недостатком рассмотренных формул и теоретических решений Долгов считает содержащиеся в них упрощения сложного природного явления, каким является сток. Поэтому он приходит к выводу о необходимости организации изучения факторов стока в реальных условиях. «Только обширные наблюдения и опыты, — пишет Долгов, — ...могут вполне осветить задачу о стекании воды с тальвега, которую не может до сих пор разрешить теория. Систематические опыты чрезвычайно желательны в большом размере, так как при отсутствии определенной теории они одни только могут указать на те эмпирические формулы, которыми следует руководствоваться при назначении искусственных сооружений. Вместе с тем опыты могут создать гипотезу, а гипотеза послужит временным мостиком для постройки сложной и стройной теории через ту пропасть, которая отделяет от нас скрытый пока закон природы о стекании вод по тальвегу»⁹⁴. Он детально излагает программу и методику изучения интенсивности дождей, поглощения воды почвой, скоростей стекания воды по скатам и тальвегам.

Будучи начальником участка пути в районе ст. Пологи Екатеринбургской ж. д., Долгов организует здесь в 1904—1912 гг. систематические наблюдения за факторами ливневого стока. Данные, полученные Пологовской дождемерной сетью, позволили Долгову установить основные положения, определяющие характер выпадения осадков и зависимости стока от ливней⁹⁵. В частности, наблюдения подтвердили неравномерное изменение интенсивности ливней по времени и по площади, уменьшение интенсивности ливней с возрастанием их продолжительности, уменьшение площади распространения дождей с увеличением их интенсивности. Особенно важным явилось установление того минимального значения интенсивности и общего количества выпавшего дождя, при которых возможно образование стока. «Сток ливневой воды при летних обычных условиях впитывания, — констатирует Долгов, — появляется, когда дождь достигает критической силы 0,50 мм в минуту и когда общего количества дождя для заполнения пор в земле расходуются не менее 15 мм»⁹⁶. При этом Долгов замечает, что число 15 мм не является абсолютным и может изменяться в ту или дру-

⁹³ Н. Е. Долгов. О нормах Кестлина и несоответствии этих норм результатам наблюдений над ливнями на Екатеринбургской железной дороге, вып. 1. Екатеринбург, 1908, стр. 81.

⁹⁴ Там же, стр. 94.

⁹⁵ Там же, вып. III, 1915, стр. 18.

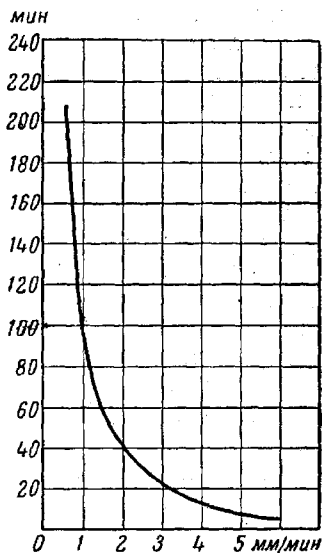
⁹⁶ Там же, стр. 20.

гую сторону в зависимости от конкретных условий (степень сухости и состав почвы, интенсивность дождя и др.).

При рассмотрении метеорологических факторов ливневого стока Долгов указывает на то, что, вследствие изменения интенсивности ливней в пределах бассейна, следует считать неправильным, что в существующие формулы входит множителем первой степени вся площадь бассейна, а не только площадь стока, как неправильно принимать высоту слоя выпавших осадков и расчетное время их выпадения для всего периода дождя, а не только для периода стока.

Рассматривая явление стока дождевых вод в природных условиях, Долгов выясняет влияние на сток, кроме метеорологических или, как он говорит, руководящих факторов, еще и целого ряда других факторов, в том числе топографических, морфометрических, гидромеханических, почвенных, растительных и др. Долгов устанавливает, что реальные топографические условия и размываемость грунтов обуславливают стекание воды по скатам не ровным слоем, как допускается в существующих теориях, а в виде бесчисленного множества отдельных стремнин, бороздок, естественное направление которых по склону часто изменяется вследствие иного направления распахки. Относительно уклона бассейнов Долгов считает достаточным деление их на равнинные, холмистые и горные, так как заметное изменение стока при прочих равных условиях «может обнаружиться только при резком различии уклонов скатов по всему бассейну»⁹⁷. При этом Долгов обращает внимание на задержание воды в естественных углублениях равнинных пространств, вследствие чего даже при очень сильных ливнях сток может оказаться незначительным. В связи с этим он указывает на уменьшение максимального стока болотами.

Возвращаясь в третьем выпуске своего труда к теориям и формулам Люгера, Зброжека, Бушмана, Кестлина, Николаи и Рипаса, Долгов подвергает их критике в свете полученных им



Кривая связи между интенсивностью и продолжительностью ливней

⁹⁷ Там же, стр. 147.

выводов из наблюдений за стоком в естественных условиях. В результате детального анализа он приходит к общему заключению, что исходные уравнения стока, принятые авторами теоретических работ, а также упрощения, допущенные при решении этих уравнений и при построении расчетных эмпирических формул, совершенно не соответствуют действительному явлению и могут отвечать лишь идеальному стоку, «которого в природе никогда не бывает».

Нельзя не заметить резкого изменения оценки Долговым работы Зброжека. Если в первом выпуске своего труда он считал, что исследование Зброжека выясняет вопрос во всей его полноте и что формула для малых бассейнов имеет практическое значение, то в третьем выпуске отношение к работе Зброжека, при справедливости критики ее, страдает явной недооценкой работы, представлявшей во многих отношениях успешную попытку аналитического исследования явления ливневого стока. Относительно формулы Кестлина Долгов считал, что пользование ею может принести только вред, так как природный приток воды может превосходить приток по Кестлину в 10 раз. Вообще, утверждал Долгов, от дождя в 9,6 мм за 10 минут никогда не будет стекать ни одной капли. «В настоящее время, — писал Долгов, — нет никаких оправданий для железных дорог подвергать опасности движение по ним из-за применения норм Кестлина, т. е. делать недопустимые ошибки в 1000 %»⁹⁸. В первом выпуске труда Долгов приводит пример расчета одного канала на Екатерининской ж. д., в котором расчетный максимальный расход был принят в 3,40 м³/сек, тогда как формула Кестлина давала 1,62 м³/сек. Однако в свете того, что выше говорилось о нормах Кестлина и Кестлина — Николаи, а также имея в виду, что при введении в 1928 г. новых норм величина стока с единицы площади для юго-запада СССР была увеличена лишь в полтора раза, а для центра и вовсе оставлена без изменения, можно сказать, что, правильно критикуя принципиальную несостоятельность формул Кестлина и Кестлина — Николаи, Долгов преувеличивал заниженность единичного стока в этих формулах и их непригодность вследствие этого.

В опубликованной в 1916 г. статье «Основные положения теории стока ливневых вод и зависимость величины отверстий искусственных сооружений на железных дорогах юга Европейской России от максимальной напряженности стока, определенной непрерывными наблюдениями Пологовской дождемерной сети на Екатерининской железной дороге» Долгов дает краткое изложение главных выводов из своего труда о стоке ливне-

⁹⁸ Н. Е. Долгов. О нормах Кестлина, стр. 200.

вых вод. Основанием для исследования ливневого стока явились полученные наблюдениями гидрографы стока и данные о местных ливнях и поглощении воды почвами.

Сначала Долгов рассматривает так называемый «идеальный сток», т. е. сток, происходящий в бассейне с неразмываемой поверхностью при дожде с постоянной средней интенсивностью i_0 (у Долгова ξ_0), продолжительностью T минут, без потерь на просачивание в почву и на испарение. При этом анализируется случай, когда

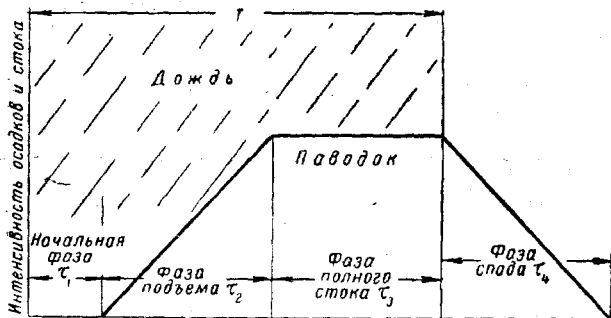
$$T > \frac{l_{\max}}{V}$$

и

$$S > \Omega,$$

где l_{\max} — длина пути воды из самой отдаленной части бассейна, V — средняя максимальная скорость движения воды по пути l_{\max} , S — площадь стока, Ω — площадь бассейна.

Долгов выделяет следующие фазы ливневого стока (см. рисунок).



Фазы ливневого стока по Н. Е. Долгову

Фаза первая продолжительностью τ_1 — от начала ливня до начала образования стока по поверхности земли непрерывным слоем после заполнения углублений и неровностей земли.

Для этой фазы площадь стока $S_1 = 0$.

Фаза вторая продолжительностью τ_2 — от начала образования стока непрерывным слоем до момента подхода к рассматриваемому сечению вод из наиболее отдаленных частей бассейна, т. е. до начала полного стока. В момент начала второй фазы $S_2 = 0$, в момент конца — $S = \Omega$.

Фаза третья продолжительностью τ_3 — фаза полного стока, когда ливневая вода стекает со всей площади бассейна,

т. е. когда $S_3 = \Omega$. Приток воды к рассматриваемому сечению за время полного стока будет

$$q_{\max} = 1,953i_0\Omega \text{ куб. саж в секунду.}$$

Фаза четвертая продолжительностью τ_4 — фаза от конца дождя до конца стока.

Далее Долгов рассматривает сток в природных условиях и прежде всего указывает на поглощение дождевой воды почвой, вследствие чего интенсивность ливня i уменьшается на интенсивность просачивания δ , причем как i , так и δ изменяются по времени.

Относительно интенсивности ливней Долгов говорит, что, как показали наблюдения Пологовской дождемерной сети, в общем контуре стока она изменяется в широких пределах от 0,5 до 6 мм в минуту. Долгов указывает, что для интенсивности ливня и инфильтрации следует принимать средние из переменных величин для промежутка времени, достаточного для того, чтобы вода, выпавшая в наиболее удаленной части бассейна, подошла к рассматриваемому сечению.

Для периода полного стекания, когда $S = \Omega$ и формула принимает вид

$$Q_{\max} = 1,953(i - \delta)\Omega,$$

i и δ определяются, как средние значения интенсивностей для времени τ_3 , определяемого условием:

$$\tau_3 = \frac{l_{\max}}{v_3},$$

где l_{\max} — наибольший путь стока до рассматриваемого створа, а v_3 — средняя скорость потока по пути l_{\max} за время τ_3 — продолжительность фазы полного стока.

Однако, продолжает Долгов, установить закон изменения скорости потока по длине невозможно, а значит и нельзя теоретически определить время стока и среднюю величину разности интенсивностей ливня и инфильтрации. Следовательно, заключает Долгов, «остается путем непрерывных наблюдений над количеством воды, притекающей к выбранному сечению тальвега, установить кривые расходов (гидрографы. — И. Ф.) и по ним продолжительность максимальных значений расходов и время появления их»⁹⁹.

⁹⁹ Н. Е. Долгов. Основные положения теории стока ливневых вод. «Гидрологический вестник», 1916, № 1, стр. 30.

Далее, представляя формулу максимального расхода для периода полного стока в виде

$$Q_{\max} = 1,953i \left(1 - \frac{\delta}{i}\right) \Omega$$

или

$$Q_{\max} = 1,953i\alpha\Omega,$$

где α — коэффициент стока за период полного стекания со всей площади бассейна, Долгов замечает, что последняя формула относится к бассейну с однообразными топографическими, почвенными и растительными условиями. Для того чтобы учесть разнообразие встречающихся в действительности этих условий, формулу следует представить в общем виде:

$$Q_{\max} = 1,953i\alpha(1-l) \cdot (1-m) \cdot (1-n)\Omega,$$

в которой коэффициенты l , m и n учитывают соответственно топографические, почвенные и растительные условия бассейна.

Относительно влияния на сток уклона скатов и тальвега Долгов отмечает, что это влияние «замечается только при резком изменении характера местности и становится неуловимым при наблюдениях в областях однообразных уклонов»¹⁰⁰. Исходя из этого, он считает возможным принимать: для равнинной местности $l < 1,0$, для совершенно ровной $l \approx 1,0$ (с вычитанием в обоих случаях l из единиц), для холмистой местности $l = 0$ и для гористой $1+l > 1,0$. Коэффициент m следует принимать для глинистых площадей равным нулю и для песчаных площадей равным единице. Коэффициент n для смешанной травяной растительности принимается равным нулю, а для лесных и болотистых местностей он представляет некоторую правильную дробь.

Указывая на простоту построения своей формулы, Долгов пишет, что «путем непрерывных по времени на площади бассейна наблюдений за количеством выпадающих осадков и секундных расходов по тальвегу возможно определить для любой области главные элементы стока i , α , l , m , n , а по ним установить нормы стока в зависимости от климатических и топографических условий каждой области, а также в зависимости от ее флоры и физических свойств почвы»¹⁰¹. Такие нормы и были установлены длительными наблюдениями Пологовской дождемерной сети.

¹⁰⁰ Там же, стр. 34.

¹⁰¹ Там же, стр. 37.

Модули максимального стока, или, по Долгову, напряженности стока, оказались в следующей зависимости с площадями бассейна:

Ω	$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{\Omega}$	Ω	$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{\Omega}$
10	0,10	2,5	5
7	0,25	1,6	15
5	0,50	1	30
3,5	1	0,40	100
3	2	0,25	300

Этой зависимостью Долгов и предлагал пользоваться в практических задачах по определению q_{\max} для площадей бассейнов 0,1—300 кв. верст в пределах юга России до параллели 50° северной широты.

Заканчивая рассмотрение замечательного исследования Н. Е. Долгова, следует сказать, что, кроме основного вопроса о нормах максимального стока ливневых вод, Долгов уделяет в своем труде внимание ряду других важных задач инженерной гидрологии, в частности задаче о влиянии на расход через отверстие аккумуляции воды перед сооружением.

Большая ценность работы Долгова состоит в том, что она основана на материалах, полученных в результате длительных научно поставленных наблюдений за факторами стока в природных условиях, что позволило Долгову впервые применить к изучению стока генетический подход. Труд Н. Е. Долгова явился крупнейшим вкладом в теоретическое и опытное исследование ливневого стока.

Кратко рассмотрим развитие методов расчета максимальных расходов в мелиоративном деле. Необходимость в расчетных нормах в мелиорации впервые возникла в связи с осушительными работами в Полесье и обводнительными мероприятиями на юге России, которые проводились экспедициями И. И. Жилинского. Надо сказать, что в мелиорации осушительные каналы и водопропускные отверстия в плотинах рассчитывали как на пропуск снеговых, так и на пропуск дождевых вод, а иногда исходили из среднегодового количества осадков.

При осушении заболоченных площадей одной из основных расчетных величин является время, в течение которого должны быть отведены с осушаемой площади выпавшие осадки и которое определяется необходимой степенью осушения.

В проекте начатого в 1874 г. осушения болот Полесья модуль стока определялся исходя из требования отвода каналом среднего максимального за месяц количества дождевых осадков в течение 30 суток. Для Полесья эта величина была принята равной 127 мм, что при коэффициенте стока, равном единице, дало модуль стока $q_{\max} = 0,53$ л/сек с десятины.

На первом съезде инженеров-гидротехников Отдела земельных улучшений в 1909 г. по докладу Е. В. Оппокова для расчета осушительных каналов были приняты нормы стока, равные 0,32 л/сек с 1 га для лугов и 0,65 л/сек с 1 га для полей. В основу этих норм было положено условие отведения в течение двух недель 36 мм осадков, что равно тройному среднему месячному стоку Днепра выше Киева (при среднемесячных осадках 50 мм и коэффициенте стока 0,24).

Вопросу о расчетных нормах в осушении Е. В. Оппоков посвятил в 1909 г. статью «О величине коэффициента стока на больших речных бассейнах, в связи с нормами для расчета осушительных каналов».

В докладе И. А. Кругзема на втором съезде инженеров-гидротехников в 1913 г. «О нормах стока для расчета осушительных каналов» нормы, принятые первым съездом, были подвергнуты критике прежде всего за их искусственность, а также за то, что в их основу были положены данные о стоке в бассейне с огромной площадью — более 350 тыс. км². Поэтому было признано вышеуказанные модули стока применять лишь при водосборных площадях до 150 десятин, при больших же площадях значительно уменьшать их.

В своем докладе Кругзем указывал на то, что, если водопропускные сооружения должны рассчитываться на абсолютные максимумы (снеговые или ливневые), а каналы, отводящие воду с пахотных угодий, на средний расход во время весенних половодий, то осушительные каналы, большей частью пролегающие по сенокосным угодьям, следует рассчитывать на летние высокие и летние средние воды, соответствующие среднему расходу наибольших летних ливней и среднему расходу воды за весь вегетационный период, каковой расчет был признан съездом желательным.

Критически разобрав способы расчета, предложенные иностранными авторами, Кругзем признал неприменимость их для осушительной гидротехники в России, в том числе и формул Ишковского. Впрочем, формулы этого автора применялись у нас, но, по-видимому, отнюдь не столь широко, и поэтому нельзя согласиться с Д. Л. Соколовским, который считает, что у нас в расчетах максимального стока, «как и в расчетах среднего стока, господствовала в части дождевых максимумов формула Ишковского, которая ставила величину максимума в зависимость от годовой суммы осадков»¹⁰².

Г. И. Тарловский в докладе на втором съезде инженеров-гидротехников, приведя формулу Ишковского для максималь-

¹⁰² Д. Л. Соколовский. Д. И. Кочерин и его роль в развитии советской гидрологии. «Метеорология и гидрология», 1949, № 1.

ных расходов, о таблицах к этой формуле сказал, что они мало у нас известны.

Гидрологический расчет осушительных каналов рассмотрен в вышедшем в 1916 г. труде А. Н. Костякова «Основные элементы расчета осушительных систем». Костяков считает, что, какими бы видами угодий ни была занята осушаемая площадь, проводящие воду каналы должны быть рассчитаны на пропуск среднего наибольшего стока (снегового или ливневого) и притом в течение такого срока, который допустим без вреда по условиям сельскохозяйственного использования осушаемой площади. Костяков подчеркивает необходимость организации систематических многолетних наблюдений за стоком с осушаемых площадей различной степени канализации. Поскольку же, говорит он, такие наблюдения только начинаются, придется, пока не будут получены устойчивые данные о режиме стока, вычислять модуль стока теоретическим путем. Обычно при таких вычислениях, указывает Костяков, определенное за известный промежуток времени количество осадков h , умноженное на коэффициент стока, должно быть отведено с осушаемой площади в течение определенного числа дней.

Однако большинство авторов, замечает он, произвольно выбирают расчетные значения h и t , причем ни то, ни другое не соотнобразуется с сельскохозяйственными условиями осушаемой площади. Приступая к построению расчетной формулы, Костяков ставит условие, что среднее для месяца суточное количество дождевых осадков должно быть без вреда отведено за 18 часов. Он получает формулу

$$q = 0,15p\sigma \sqrt{\frac{\omega_1}{\omega}} \text{ л/сек с десятины.}$$

В этой формуле: p — среднее наибольшее суточное количество дождевых осадков в мм; σ — коэффициент стока; ω — площадь, обслуживаемая рассчитанным каналом, ω_1 — площадь, для которой определено значение σ , показатель корня $x = 4-8$, в зависимости от уклона и формы водосбора.

При этом расчет пропускной способности каналов должен быть произведен на большую величину из двух: суточной интенсивности снеготаяния p_0 и средней наибольшей суточной интенсивности летних осадков p . Следовательно, если интенсивность снеготаяния p_0 окажется больше p , то в формулу следует подставлять p_0 . Ввиду сложности вопроса о выборе значения показателя корня x , А. Н. Костяков указывал, что его формула может считаться лишь первым приближением.

В заключение нашего очерка истории развития методов расчета ливневых вод остановимся на вопросе о природе явления

так называемой редукции максимального стока с увеличением площади бассейна.

В большинстве рассмотренных выше формул ливневого стока уменьшение единичной нормы выражается определенными числовыми коэффициентами, отражающими влияние на эту норму размера бассейна. Но имеется также многочисленная группа формул, получивших в немецкой литературе название формул замедления стока, в которых уменьшение основной нормы представлено коэффициентом вида:

$$\frac{1}{\sqrt[n]{F}},$$

где F — площадь водосбора.

К числу таких формул относятся приведенные выше формулы Карачевского-Волка и Костякова.

Формулы этой группы впервые появились в 50-х годах XIX в. в западноевропейских странах и получили там широкое распространение в канализационной практике. В ряде случаев они применялись также при расчетах городской канализации в России.

Г. И. Тарловский в статье «Нормы стока для расчета прудовых водосливов», опубликованной в 1913 г., первой формулой из этой группы называет английскую формулу

$$Q = \varphi \frac{h}{t} \sqrt[4]{\frac{\alpha}{F}} F,$$

основанную на непосредственных измерениях канализационных вод. В этой формуле $\frac{h}{t}$ — средняя интенсивность осадков, φ — коэффициент стока, α и F — уклон и площадь водосбора.

В большинстве последующих формул коэффициент уменьшения нормы стока с возрастанием площади бассейна, названный Тарловским коэффициентом редукции, обычно выражается в функции лишь водосборной площади.

Касаясь сущности явления, отражаемого коэффициентом редукции, Тарловский считает, что уменьшение основной нормы стока объясняется двумя причинами. Во-первых, неравномерностью интенсивности дождя по времени. В результате этого, как показал еще Зброжек, происходит уменьшение стока с единицы площади, что он и учитывает введением в свои формулы коэффициента D . Во-вторых, как пишет Тарловский, «редукционный коэффициент выражает влияние уменьшения дождя с

удалением от центра последнего»¹⁰³, т. е. влияние неравномерности интенсивности по площади, вследствие чего средняя интенсивность ливня с увеличением площади убывает. Это обстоятельство, как мы видели, учитывается Зброжеком коэффициентом ϕ .

В работе Тарловского приведены многие наиболее известные в то время формулы вида

$$Q = \frac{AF}{n\sqrt{F}}$$

где A — основная норма максимального стока. Показатель корня в формулах варьирует от 2 до 7. Принятие больших значений показателя редукции предполагает одновременность стока почти со всего бассейна, что, очевидно, возможно главным образом в горных местностях.

Говоря о первой причине уменьшения единичной нормы ливневого стока, Тарловский указывает на запаздывание подхода к створу осадков, выпадающих в отдаленных частях бассейна; однако в рассмотрение этого явления он не входит, и по существу речь у него идет лишь о влияниях на сток изменения интенсивности по ходу ливня. Однако, по Зброжеку, влияние на величину стока только этих причин относится лишь к небольшим бассейнам, в которых расчетная продолжительность ливня больше времени добегаания воды по наибольшему пути стока. При обратном же соотношении происходит замедление стока, учитываемое у Зброжека коэффициентом C . Именно на этой роли коэффициента редукции — отражении им явления замедления стока — подробно останавливается А. Н. Костяков в своей работе «Основные элементы расчета осушительных систем». Он указывает, что «значение коэффициента замедления стока зависит от многих факторов и в том числе от l , v и T , т. е. длины и вообще размеров водосборной площади, скорости движения воды по водосбору и продолжительности осадков, т. е. целого ряда индивидуальных факторов. Замедление стока происходит только в том случае, если $T < \frac{l}{60v}$ »¹⁰⁴ (T в минутах, v в м/сек). О показателе корня коэффициента замедления стока $\left(\frac{1}{x\sqrt{\omega}}\right)$ в обозначениях Костя-

¹⁰³ Г. Тарловский. Нормы стока для расчета прудовых водосливов. 2-й съезд инженеров-гидротехников 8—15 января 1913 г., т. III. Доклады. СПб., 1913, стр. 338.

¹⁰⁴ А. Н. Костяков. Основные элементы расчета осушительных систем. М., 1916, стр. 96.

кова) говорится, что он зависит от формы, характера водосборной площади и т. д. и находится в прямой зависимости от коэффициента стока: $x = a\sigma$ (σ = коэффициент стока). Поэтому, заключает Костяков, «значение коэффициента уменьшения модуля стока $\frac{1}{a\sigma}$ может быть принято как общее для учета влияния и потерь и замедления»¹⁰⁵.

Таким образом, коэффициент редукции в большинстве формул замедления стока представляет собой суммарный поправочный коэффициент, выражающий уменьшение максимальных расходов в результате неравномерной интенсивности ливней по времени и по площади, вследствие потерь воды на просачивание и испарение и ввиду замедления стока в случае, когда продолжительность ливня меньше времени добегания воды из отдаленных пунктов бассейна.

Нами рассмотрены наиболее значительные работы русских ученых и инженеров, дающие представление о большом вкладе, внесенном ими в разработку теории и методов расчета максимального стока ливневых вод. Далее мы остановимся на истории вопроса о расчете максимальных расходов, образующихся от снеготаяния.

Как уже отмечалось, первая в России попытка нормирования максимальных расходов касалась максимумов талых вод. В циркуляре Техническо-инспекторского комитета железных дорог, изданном в 1877 г., говорилось: «Ввиду частых в течение последних лет разрушений железнодорожных мостов, вследствие недостаточности их отверстий, техническо-инспекторская часть железных дорог предлагает советам управлений, правлениям обществ, гг. инспекторам, главным инженерам и управляющим железных дорог, как вспомогательную данность для определения отверстий искусственных сооружений в том случае, когда не все элементы быта реки известны, следующую таблицу, составленную по сведениям о тех мостах на русских железных дорогах, отверстия которых до настоящего времени оказываются вполне достаточными...»¹⁰⁶. Далее шла таблица коэффициентов от 0,07 до 0,007, на которые следовало умножать площади бассейнов (в кв. верстах) для получения площади живого сечения сооружений для пропуска весенних вод в кв. саженьях. Площади бассейнов давались в пределах от 50 до 300 000 кв. верст с 13 интервалами. В заключение говорилось, что «в том же случае, когда все естественные условия быта реки, влияющие на наибольший расход и наибольшую скорость высо-

¹⁰⁵ Там же, стр. 96.

¹⁰⁶ А. Карачевский - Волк. Определение отверстий искусственных сооружений. М., 1899, стр. 102.

ких вод, известны, при определении отверстий мостовых сооружений надлежит руководствоваться этими условиями независимо от приведенных таблиц»¹⁰⁷.

Таким образом, первый циркуляр ведомства путей сообщения по расчету максимальных расходов талых вод исходил из предположения, что опасные максимумы этой категории могут образовываться на площадях свыше 50 верст. Таблица была составлена с учетом уменьшения максимального расхода с единицы площади по мере увеличения размера бассейна, причем с увеличением площади уменьшение расхода усиливалось. Но, хотя первые нормы ведомства путей сообщения относились к стоку снеговых вод, теоретические основы расчета максимумов весеннего стока почти не разрабатывались. Это, по-видимому, объясняется тем, что при расчете мостовых отверстий на реках со значительными бассейнами обычно использовались, как это и предлагалось циркуляром 1877 г., фактические гидрометрические данные.

Из эмпирических формул для максимумов талых вод, предложенных инженерами-путейцами, можно указать, пожалуй, лишь на формулы А. О. Карачевского-Волка и Ф. Г. Зброжека. Формула первого, относящаяся к 1899 г., имеет вид:

$$Q_{\max} = \left(\frac{1,32}{\sqrt{F + 100}} + 0,007 \right) F \text{ куб. саж. в секунду.}$$

Эту формулу Карачевский-Волк получил на основании 37 максимальных расходов, вычисленных при расчете отверстий железнодорожных мостов в створах с водосборами от 45 до 280 000 кв. верст на реках в различных районах страны. Формула представляет собой подобранное, как говорит автор, «ощупью» уравнение кривой зависимости максимальных расходов от площади бассейна. Сугубо эмпирическая формула Карачевского-Волка имела практическое применение при ориентировочных расчетах. В своей теоретической работе «Сток атмосферных осадков» Зброжек кратко остановился также и на вопросе о максимальных расходах весенних половодий. Исходя из того, что продолжительность снеготаяния всегда больше времени добегания воды из самых дальних частей бассейна, Зброжек применяет свою формулу ливневых расходов для малых бассейнов и к определению стока весенних вод. Он дает следующие формулы для расходов весенних вод:

$$\text{для среднего расхода } \bar{q}_{\max} - q_0 = 1,953 \alpha \Omega \frac{H}{1440N},$$

$$\text{для максимального расхода } q_{\max} - q_0 = 1,953 z \Omega \frac{H}{1440N}.$$

¹⁰⁷ А. Карачевский-Волк. Определение отверстий искусственных сооружений. М., 1916, стр. 103.

В этих формулах q_{\max} — средний расход в куб. саж. в секунду за время половодья, q_{\max} — наибольший расход за время половодья, q_0 — расход до начала половодья, α — коэффициент стока за время половодья, Ω — площадь бассейна, H — средняя высота слоя весеннего половодья (запас воды в снеге); N — продолжительность половодья в сутках; z — коэффициент, называемый Зброжеком коэффициентом наибольшего стока и равный $\frac{q_{\max} - q_0}{q_{\max} - q_0} \alpha$. (В оригинале указанные величины обозначены соответственно: q' , q_{\max} , q , α'' , Ω , H_2 , N , z' .)

Применив формулу к Оке у Орла, Зброжек получил средний максимальный расход весенних половодий $q_{\max} = 74,53$ куб. саж. в сек., вместо действительного по данным за 13 лет наблюдений 73,12 куб. саж. в сек.; при этом среднее значение z , вычисленное по данным наблюдений, равнялось 3,76.

Применение формулы Зброжека, естественно, сильно ограничивалось, поскольку надежные значения z и $\frac{H}{N}$ могли быть получены только путем длительных наблюдений.

Несколько больше внимания вопросам расчета максимальных расходов талых вод уделили инженеры, работавшие в области мелиорации. С необходимостью определения максимальных расходов талых вод, пропускаемых сбросными устройствами в запрудах, инженеры-мелиораторы впервые встретились с началом работ по орошению и обводнению на юге России. Расчет водопропускных сооружений инженерами Экспедиции по орошению на юге производился, исходя из количества зимних осадков. Приведем примеры¹⁰⁸. Водослив Каменского водохранилища (в бывшей Екатеринославской губ.) был рассчитан на увеличенный в пять раз расход, вычисленный по среднему слою зимних осадков за многолетний период (XII, I, II месяцы). При этом было принято условие, что $\frac{1}{3}$ всего объема воды должна пройти через водослив в течение суток. Водохранилище на р. Камышевахе (приток Волги) было рассчитано по наибольшему слою зимних осадков, с условием, что весь объем половодья пройдет через водохранилище за 48 часов. Канал для отвода излишка весенних вод из водохранилища, построенного в 1880 г. у с. Березова бывшей Самарской губ., также был рассчитан на максимальные осадки зимнего периода, причем было принято, что $\frac{1}{4}$ всего объема половодья проходит в первые сутки, $\frac{2}{4}$ — в следующие двое суток, остальная вода в следующие 3—8 суток.

¹⁰⁸ И: И. Жилинский. Очерк работ Экспедиции по орошению на юге России и на Кавказе. СПб., 1892.

Однако такие примитивные расчеты с произвольными допущениями были явно неудовлетворительными. Инженерная мысль стремилась разработать более надежные методы и нормы расчета, основанные прежде всего на данных наблюдений.

Ю. В. Ланге в «Инструкции для гидротехнических изысканий на общественных работах 1907 г. в Новоузенском уезде Самарской губернии» считает приемлемой для Новоузенского уезда следующую формулу:

$$Q_{\max} = k (\sqrt{\Omega} + 0,02) \Omega \text{ куб. саж. в секунду,}$$

полученную им в результате обработки данных о стоке весенних вод, добытых наблюдениями Экспедиции по орошению на Юге России, Общества Рязано-Уральской ж. д. и Новоузенского уездного земства. В этой формуле: Ω — площадь бассейна в кв. верстах; k — коэффициент, зависящий от уклона бассейна, его формы и свойств поверхности и изменяющийся от 0,75 до 1,25

На основании наблюдений над стоком весенних вод на 30 небольших водосборных площадях в Тульской и Воронежской губерниях Р. П. Спарро разработал следующие нормы максимального стока талых вод для расчета водосливов¹⁰⁹.

Водосборная площадь (в десятинах)	100	200	300	400	500	600
Максимальный сток (в куб. саж. в 1 сек. с десятины)	0,0035	0,0033	0,0030	0,0028	0,0026	0,0025
Водосборная площадь (в десятинах)	700	800	900	1000	1500	
Максимальный сток (в куб. саж. в 1 сек. с десятины)	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0020	

Тарловский в названной выше статье указал на то, что таблица Спарро вполне удовлетворительно укладывается в формулу

$$Q = 0,355 \frac{F}{\sqrt{F}} \text{ куб. саж. в секунду,}$$

где F — площадь водосбора в кв. верстах.

¹⁰⁹ Р. П. Спарро. Пособие для сельского водоснабжения. М., 1911.

Анализируя в своей статье многие формулы и нормы, Тарловский показывает большое расхождение в величине основной нормы максимального стока у различных авторов, русских и иностранных.

В приведенных Тарловским формулах и нормах (без разделения их на снеговые и ливневые) основная норма изменяется от 1,27 до 0,05—0,07 куб. саж. в сек. с кв. версты, т. е. более чем в 15 раз. Если бы Тарловский привел также нормы стока, применявшиеся у нас в осушении, то разницей в расчетных величинах стока с единицы площади оказался бы еще большим. Так, если максимальный модуль стока у Ланге равен 1,27 а у Спарро 0,35 куб. саж. в сек. с 1 кв. версты, то норма, рекомендованная I съездом инженеров-гидротехников при осушении луговых угодий, составляла всего, примерно, 0,004 куб. саж. в сек. с 1 кв. версты. Конечно, необходимо принять во внимание, что нормы для расчета водосливов имеют в виду предельные максимальные расходы, а осушительные нормы исходят из средних значений тех или иных максимумов. Но и с учетом этого обстоятельства расхождение в единичных нормах расчетного стока, предложенных различными авторами, оказывается очень большим. На основании собственного опыта и опыта других русских инженеров Тарловский считал, что нормы стока для расчета водосливов должны исходить не из ливневых, а из снеговых максимальных расходов.

Наблюдения, проведенные Тарловским весной 1912 г. в Саратовской губ., показали, что интенсивность снеготаяния (в районе наблюдений) не превышает 5 мм в час. Эту интенсивность снеготаяния Тарловский принимает за расчетную и получает основную норму стока равной 0,16 куб. сажени в 1 сек. с 1 кв. версты. При этом он считает, что эту величину следовало бы уменьшить за счет инфильтрации и вследствие того, что, когда интенсивность снеготаяния достигает максимума, часть водосбора становится местами уже свободной от снежного покрова.

Тарловский дает для небольших бассейнов, от 15 до 20 кв. верст, формулу вида:

$$Q = A(1 - \mu \sqrt{F}) F \text{ куб. саж. в секунду,}$$

где A — основная норма; F — водосборная площадь в кв. верстах; μ — коэффициент, зависящий от хода таяния и топографических условий долины, принятый Тарловским равным 0,06. Для бассейнов до 15 кв. верст Тарловский предлагал принимать в расчет наиболее невыгодный случай, когда таяние идет с максимальной интенсивностью на всей площади водосбора. Тогда

$$Q_{\max} = 0,16F.$$

Для бассейнов свыше 50 кв. верст он считал возможным брать основную норму в половинном размере, а для бассейнов от 15 до 50 кв. верст принимать среднее значение между $A = 0,16$ и $A = 0,08$, чему приблизительно и отвечает его первая формула, учитывающая редукцию стока по площади.

Относительно уменьшения нормы стока талых вод с увеличением площади водосбора Тарловский считал, что оно зависит «прежде всего от капризного хода таяния в течение дня», является весьма умеренным при небольших площадях, и «во всяком случае несомненно,— утверждал он,— что для редукционного фактора вида $\frac{1}{n\sqrt{F}}$, общеупотребительного в формулах

канализационных, в данном случае не может быть места»¹¹⁰. Впоследствии Д. И. Кочерин и другие авторы показали, что такой взгляд ошибочен. Слабо обоснованной была и основная норма Тарловского. Однако его анализ формул и норм максимальных расходов талых вод представлял в ходе исследования этой проблемы значительный интерес.

4. Водные исследования и развитие гидрологии в 1910—1917 гг.

Интенсивное развитие водных исследований в Министерстве путей сообщения.— Междуведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водяных сообщений империи.— Схема главных магистралей внутренних водных путей.— План работ и исследований на внутренних водных путях.— Состав исследований.— Разработка инструкций для исследования водных путей.— Работы, выполненные изыскательскими партиями и округами путей сообщения.— Расширение сети водомерных постов.— Организация сети постоянных гидрометрических станций.— Разработка теоретических основ и практических методов гидрометрии.— Развитие инженерно-гидрологических исследований в ведомстве земледелия.— Работы гидрометрических частей и изыскательских партий в Туркестане и на Кавказе.— Значение работ В.Г. Глушкова в развитии гидрометрии.— Изучение водного хозяйства Крыма.— Водные исследования в Сибири и на Дальнем Востоке.— Изыскания на реках Европейской России.— Изучение гидромодуля.— Вопрос о создании центрального научного гидрологического учреждения.— Записка В. Г. Глушкова «О гидрологии».

В этот последний период развития гидрологии суши в дореволюционной России обоими ведомствами — путей сообщения и земледелия, — игравшими основную роль в гидрологических исследованиях, были проведены весьма значительные гидрографические и гидрологические работы, имевшие вместе с тем и некоторые качественные особенности по сравнению с предыдущим временем.

¹¹⁰ Г. Тарловский. Нормы стока для расчета прудовых водосливов, стр. 343.

Водные исследования Министерства путей сообщения, получившие с 1904 г. заметное оживление, с 1910 г. приобрели наиболее интенсивное развитие и определенную планомерность. При обсуждении в 1908 и 1909 гг. в Государственной думе бюджетных ассигнований по Управлению внутренних водных путей и шоссейных дорог была признана неотложной необходимостью составления Министерством путей сообщения классификации рек и искусственных водных путей по степени их экономического значения и выработки технического плана улучшения водных путей, с указанием последовательности его осуществления. Не задаваясь целью общей классификации всех рек России, неосуществимой в то время из-за отсутствия нужных для этого материалов (полные технические исследования были проведены не более чем на 10% протяжения зарегистрированных водных путей), и не имея в виду составление полного плана работ по улучшению водных путей, Министерство путей сообщения все же сочло возможным и необходимым выяснить объем и характер работ на водных путях в ближайшее десятилетие и наметить последовательность дальнейших изысканий. Для осуществления этой задачи в марте 1909 г. Министерством путей сообщения по согласованию с заинтересованными ведомствами была создана МеждудеPARTMENTальная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водяных сообщений империи под председательством В. Е. Тимонова.

Для того чтобы определить очередность исследования рек и водоразделов, комиссия прежде всего наметила схему главных магистралей внутренних водных путей. Установленную комиссией схему составили следующие магистрали, или пути первого разряда¹¹¹: 1) Северо-Российская, 2) Средне-Российская, 3) Южно-Российская, 4) Черноморско-Балтийская, 5) Каспийско-Балтийско-Беломорская, 6) Обская, 7) Енисейская, 8) Ленская.

Установленная Комиссией схема основных магистралей внутренних водных путей представляла собой соединенную в единое целое обширную сеть водных путей сообщения обеих частей России. В этой сети большое протяжение составляют искусственные водные пути — соединительные каналы, на устройство которых в период усиленного строительства железных дорог почти не обращалось внимания. Искусственные водные пути в Европейской России, по данным «Перечня» 1907 г., составляли по отношению к использовавшимся для судоходства

¹¹¹ МеждудеPARTMENTальная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водяных сообщений в России. Сведения о занятиях Комиссии в период времени с сентября 1909 года по август 1910 года. СПб., 1910.

и сплава естественным водным путям всего около одного процента.

Искусственные части водных коммуникаций не только не развивались, но даже приходили в упадок. В 1838 г. был закрыт Северо-Екатерининский канал. В 1860 г. было упразднено искусственное соединение Москвы и Верхней Волги между реками Истрой и Сестрой. С 1896 г. прекратилось сквозное движение между Волгой и Невой по Вышневолоцкой системе. С 1910 г. был заброшен Обь-Енисейский канал.

В соответствии со схемой основных водных магистралей страны Комиссией были составлены план работ на внутренних водных путях в 1912—1916 гг. и план исследований водных путей и работ по составлению проектов их улучшения и развития на период 1911—1915 гг. Оба эти плана должны были явиться частью общего плана исследований и работ на водных путях в десятилетие 1911—1920 гг. Однако этот план комиссией В. Е. Тимонова, ликвидированной в 1921 г., составлен не был.

При определении состава изысканий, начиная с 1910 г., Комиссия имела в виду восполнить пробел в произведенных ранее исследованиях рек и обеспечить необходимыми материалами работы по улучшению и развитию водных путей сообщения в ближайшее десятилетие.

Намеченные Междуведомственной комиссией исследования на водных путях в пятилетие 1911—1915 гг. имели в виду¹¹²:

- а) технические исследования с целью выяснения возможности путем изменения естественных свойств рек добиться улучшения их судоходных условий;
- б) составление технических проектов улучшения и развития водных путей;
- в) экономические исследования;

г) научно-инженерное изучение общих вопросов, которое по гидрологической части включало в себя: развитие сети водомерных постов; наблюдения за движением наносов; изучение взаимодействия речного русла и сооружений в нем; изучение ледового режима рек, особенно донного льда и зажоров; изучение гидравлических сил судоходных рек.

Комиссия обратила серьезное внимание на улучшение организации и методики водных исследований. Созванное по инициативе Междуведомственной комиссии совещание начальников изыскательских партий признало необходимым пересмотреть все инструкции по водным исследованиям и заменить их новыми.

¹¹² Междуведомственная комиссия для составления плана работ..., стр. 93.

Совещанием под руководством Н. П. Пузыревского при участии А. К. Старицкого, А. И. Фидмана, О. О. Тейхмана, Н. В. Попова, В. М. Родевича, М. М. Мочульского, К. А. Воскресенского, Е. В. Близняка, Е. Г. Иогансона, П. П. Стакле, П. А. Ефимовича, Н. Н. Соколова, В. Г. Розенталя, Ю. М. Шокальского были составлены проекты инструкций по всем видам изысканий на реках и водоразделах. Управлением внутренних водных путей и шоссейных дорог весной 1911 г. инструкции были утверждены как обязательные для руководства при производстве изысканий и наблюдений¹¹³.

Эта серия инструкций сама по себе явилась значительным вкладом в гидрологию и другие отрасли науки.

Для руководства гидрографическими и гидрологическими исследованиями в составе Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог в 1910 г. было создано Бюро исследований водных путей под руководством В. М. Родевича.

С весны 1911 г. изыскательские партии приступили к исследованию на реках и водораздельных участках почти всех водных магистралей¹¹⁴.

Крупная партия, руководимая Е. В. Близняком, начала работы по исследованию различных вариантов соединения обского и енисейского бассейнов, а также р. Енисея от г. Красноярска до Ледовитого океана (Енисей от верховьев до г. Красноярска

¹¹³ В 1912 г. были изданы следующие «Инструкции для исследования водных путей» (в скобках указываются даты их утверждения):

- 1) для подробных исследований рек (28.V 1911);
- 2) для облегченных исследований рек (28.V 1911);
- 3) для маршрутных рекогносцировок рек (28.V 1911);
- 4) для рекогносцировочных исследований водоразделов (7.VI 1911);
- 5) для облегченных исследований водоразделов (7.VI 1911);
- 6) для подробных исследований водоразделов (7.VI 1911);
- 7) для производства барометрической нивелировки (7.VI 1911);
- 8) для подробных исследований озер (7.VI 1911);
- 9) для геологических исследований при исследовании внутренних водных путей (7.VI 1911);
- 10) для наблюдения над атмосферными осадками (7.VI 1911);
- 11) для собирания статистических и экономических сведений при исследовании внутренних водных путей (7.VI 1911).

Во второе издание «Инструкций для исследования водных путей» в 1914 г. вошла также более подробная, состоящая из 185 параграфов «Инструкция для производства работ на постоянных гидрометрических станциях Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог», утвержденная 27.V 1914 г.

¹¹⁴ Изыскательская деятельность партий Управления внутренних водных путей и округов путей сообщения в 1911—1915 гг. получила освещение в изданных в 1912—1916 гг. под редакцией Бюро исследований обстоятельных «Отчетах по исследованиям рек и изысканиям соединительных водных путей» (составивших XXX, XLIV, LVI и LXVI выпуски «Материалов для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий»).

был в 1907—1910 гг. исследован партией В. М. Родевича). Работы начались с исследований Енисея. Был измерен максимальный расход воды у Красноярска, оказавшийся равным весной 1911 г. примерно 12 100 м³ (минимальный, по данным Верхнеенисейской партии, равнялся около 1800 м³). Большой интерес представили проводившиеся в 1911—1912 гг., по инструкции Е. В. Близняка, наблюдения за зимним режимом и ледоходом на Енисее от Красноярска до Енисейска. При исследованиях на Енисее была впервые применена предложенная Е. В. Близняком и применяемая и в настоящее время автоматическая рейка для фиксации максимальных уровней.

Исследования 1912 г. окончательно показали, что наиболее выгодным вариантом соединения Оби и Енисея является Кеть-Касовский (с каналом между реками Язевой и Малым Касом). На этом направлении и были развернуты изыскания 1913 г. В этом году в Обь-Енисейскую партию входило: 6 инженеров, 11 старших техников, 29 младших техников, 9 десятников, до 250 человек рабочих. Чтобы дать представление о составе и характере проводившихся работ, приведем для примера программу исследований на р. Кети в 1913 г. В нее включалось: «Исследование р. Кети от устья р. Озерной до впадения Кети в Обь, на протяжении около 600 верст.

- 1) Устройство водомерных постов.
- 2) Двойная продольная нивелировка горизонта воды с закреплением ее на месте прочными реперами.
- 3) Съёмка местности, причем берега до высоты бровок должны быть охарактеризованы в высотном отношении.
- 4) Профиля поймы снимаются в мере возможности.
- 5) Промеры глубин реки.
- 6) Отдельные определения расходов воды в различных пунктах реки и ее притоков при разных горизонтах.
- 7) Фотографические работы.
- 8) Собираание сведений топографических, гидрометрических и судоходных»¹¹⁵.

Полевые исследования Обь-Енисейской партии в 1913 г. в основном были закончены. При исследовании Енисея большое внимание было уделено вопросам методики гидрометрических работ, особенно способам обработки данных наблюдений. Весьма ценным явился также опыт определения расходов воды в зимних условиях. В связи с этим значительный интерес представляла вышедшая в 1913 г. в Петербурге работа А. А. Зиринга

¹¹⁵ Отчет по исследованиям рек и изысканиям соединительных водных путей, произведенным партиями Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог и округами путей сообщения в 1913 г. СПб., 1914, стр. 5.

(под редакцией Е. В. Близняка) «Описание работ по определению расходов воды р. Енисея у г. Красноярска Обь-Енисейской партией в 1911 г.». Вопросы гидрометрии нашли разработку также в трудах Е. В. Близняка об исследованиях на Енисее.

Обширные исследования под руководством А. И. Фидмана были развернуты на трассе Волжско-Сибирского (Камско-Иртышского) водного пути. Еще более ранними изысканиями было установлено, что наиболее целесообразным вариантом соединения волжского и обского бассейнов является соединение сближающихся в пониженной озерно-болотистой местности возле г. Екатеринбурга (Свердловска) верховьев рек Чусовой, притока Камы, и Исети, притока Тобола, впадающего в Иртыш. Для соединения двух великих речных систем необходимо было прорыть канал между реками Чусовой и Решеткой, притоком Исети, длиной всего 4,5 версты. Кроме того, требовалось улучшить судоходные условия Чусовой, Исети и Тобола, а также обеспечить питание канала водою. Исследования, охватившие в 1911 г. около 1300 верст длины рек, были закончены в 1912 г. Изучение водного режима рек проводилось на 52 водомерных постах и 9 гидрометрических станциях. Опыт гидрометрических работ в районе Камско-Иртышского водного пути нашел освещение в труде С. И. Моисеенко «Проект водного пути между Камою и Иртышом... Гидрометрические работы» (1914). В этом труде даны ценные обобщения и выводы, касающиеся методики измерений и вычислений скоростей течения и расходов воды. В частности, автором разбираются такие важные в практическом и научном отношении вопросы, как связь времени измерения скорости вертушкой с явлением пульсации и вид кривой распределения скоростей по вертикали. Как уже указывалось, С. И. Моисеенко была предложена логарифмическая кривая распределения скоростей по вертикали, более точная, чем кривая Р. Ясмунда. Вид ее определяется уравнением:

$$h = a + b \lg(B + V),$$

где h — глубина, на которой определяется скорость V , а a , b и B — постоянные для данной кривой коэффициенты.

В 1911—1914 гг. работала партия по исследованию Черноморско-Балтийского водного пути под руководством О. О. Тейхмана. В задачу этой партии входило получение материалов для разработки проектов транзитных водных сообщений по направлениям Херсон — Рига и Херсон — Петербург.

В те же годы партия, возглавлявшаяся Л. П. Белявиным, производила исследование Волжско-Днепровско-Висленско-

го водного пути (Западной части Средне-Российской магистрали).

Партия должна была получить данные для проектирования водного сообщения Припять — Неман — Виндава через Огинскую систему и Виндаво-Неманское соединение. В 1914 г. изыскания проводились и на Десне.

Большие работы провела партия по исследованию рек Северного Кавказа (под начальством Б. П. Жерве). Начав с Кубани, она в 1912 г. исследовала реки Лабу, Белую, Проток. С 1913 г. внимание партии (под руководством И. Д. Вовкушевского) было обращено на исследование гидравлической мощности рек Риона, Арагвы и других и способов ее утилизации. Исследовалась также Кура для согласованного использования ее для судоходства и орошения юго-востока Закавказья.

В 1911 г. партия во главе с А. П. Преженцовым начала исследования на р. Суне для выяснения возможности использования ее гидравлической энергии. Партией в марте 1911 г. было организовано три гидрометрических станции. С 1912 г. исследования были распространены на реки Кемь, Сегежу, Лендерку, затем на р. Выг. В 1913—1914 гг. партией производились изыскания на Уфе и Белой. В связи с намечавшимся Беломорско-Онежским водным путем по варианту р. Выг — Сегозеро — р. Кумса, партия произвела в 1914—1915 гг. изыскание по этому направлению.

В 1911—1914 гг. работала партия в районе Тихвинской и Мариинской систем. Перед нею была поставлена задача найти другой, кроме Мариинского пути, вариант соединения Волги с Балтийским морем взамен Тихвинского пути. В результате изысканий тихвинский вариант все же был признан наиболее целесообразным, хотя существовавший путь и не мог без серьезной реконструкции оказать нужной помощи Мариинской системе.

С 1911 г. велись работы по выяснению возможности улучшения питания водораздельного бьефа системы А. Виртембергского. Всесторонние исследования были произведены в 1913—1914 гг. на входящей в эту систему р. Сухоне с целью шлюзования реки на всем ее протяжении (партия В. А. Крокоса). При этом была выяснена гидравлическая мощность Сухоны. В 1914—1915 гг. исследования велись также на притоке Сухоны р. Вологде, на р. Малой Северной Двине и на оз. Кубенском (промеры глубин по продольной линии).

По поводу соединения Волги и Северной Двины укажем, что в 1910—1911 гг. исследовалась возможность такого соединения между реками Лежей, притоком Сухоны, и Монзой, притоком Костромы, а также по направлению рек Юг — Пушма — Волосница — водораздел — рек Каля — Молома — Вятка — Кама.

Впервые в 1911 г. были начаты исследования в бассейне Лены. Работы, производившиеся с 1912 г. по инструкции для подробных исследований рек, продолжались до 1916 г. (начальник партии С. А. Васильев), но только на протяжении верхней трети реки, до впадения в нее Витима. В 1912—1914 гг. в трех пунктах Лены были открыты гидрометрические станции.

Далее следует отметить произведенные в 1912 г. поверочные изыскания по Северному Донцу в связи с проектом его шлюзования; изыскания в том же году на участке Дона от хут. Калача до станции Семикаракорской; исследование в 1913—1914 гг. Печоры и Ижмы (партия под руководством Е. Ф. Иогансона); дополнительные исследования, проведенные в 1914 г. в порожистой части Днепра в связи с проектом приведения этой части в судоходное состояние; поверочные исследования в том же году на Москве-реке.

Значительные инженерные изыскания на реках провели, в рассматриваемые годы округа путей сообщения.

Партии Управления водных путей Амурского бассейна проводили в 1911—1915 гг. исследования Верхнего Амура, Амгуни, Селемджи, Аргуни, Депа, Гилюя, Уркана и других второстепенных рек бассейна.

Томским округом исследовались верховья Иртыша, озера Улюнгур и Зайсан, реки Урунгу, Или, Ишим, Сосьва, Тавда и др.

На многих реках волжского бассейна производил в 1911—1915 гг. исследования Казанский округ путей сообщения. Так, в 1914—1915 гг. изысканиями, проведенными на протяжении примерно 4400 км, были охвачены реки Волга, Кама, Вятка, Белая, Уinja, Ока, Кострома, Казанка, Ветлуга, Колва, Уфа. На Волге, Каме, Костроме производились исследования для выяснения действия гидротехнических сооружений на режим рек.

Обширные гидрографические работы в бассейне Днепра и по Днестру производились Киевским округом путей сообщения.

Водные исследования проводили также округа Московский (на Москве-реке), Петербургский (на Тверце) и Вытегорский (на Свири).

В результате гидрографических работ, проводившихся ведомством путей сообщения в 1901—1915 гг., были впервые или дополнительно изучены с различной степенью подробности следующие реки: Амур и реки его системы — Шилка, Зeya с притоками Селемджой, Дeпом, Гилюем, Аргунь, Уссуря с Сунгачей, Буряя, Амгунь; Лена и Витим; Селенга и Баргузин; Енисей и реки его бассейна — Ангара, Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска, Пит, Абакан, Туба, Кас; реки обского бассейна — Чарыш, Бия, Чумыш, Алея, Кеть, Чулым, Томь, Сев. Сосьва; Иртыш и реки его системы — Ишим, Тобол, Исеть, Тура, Тавда

с Южной Сосьвой; Или; Волга и реки ее бассейна — Тверца, Шексна, Кострома, Москва, Клязьма, Ока, Ветлуга, Южная Кельтма, Колва, Сытва, Чусовая, Уфа, Белая, Вятка, Кама и др.; Вычегда, Вышь, Северная Кельтма, Сухона, Вологда; Печора с Ижмой и Ухтой; Кемь; Выг; Суна; Сегежа; Нева; Свирь; Волхов; Западная Двина; Днестр; некоторые участки Днепра и почти все его притоки (Вопь, Березина с притоками, Сож с притоками, Припять с притоками, Тетерев, Десна с притоками, Сула, Псёл, Самара, Ингулец и др.); Ингул; Нижний Дон и Северный Донец; реки Кавказа — Кубань, Кура, Рион и др.

С началом первой мировой войны гидрографические работы почти полностью прекратились. Уже в 1915 г. полевые изыскания проводились в очень незначительном объеме.

Кроме исследования рек, как мы видели, инженерные изыскания были проведены также по многим направлениям намечавшихся искусственных соединений речных бассейнов.

Выше на примере работ, проводившихся в 1913 г. на р. Кети, мы показали состав и характер речных исследований 1911—1915 гг. Исследования проводились значительно полнее, чем партиями Навигационно-описной комиссии. В результате работ получались не только плановые и морфометрические данные о руслах рек и поймах, но и обязательно выяснялись гидрологические особенности рек, прежде всего режим уровней и расходы при различных горизонтах. В некоторых случаях производилось также изучение речных наносов, донного льда и других явлений зимнего режима. Для изучения колебания уровней партиями было устроено дополнительно к действовавшим большое количество новых водомерных постов. К началу 1917 г. в системе ведомства путей сообщения действовало 845 постов (к 1903 г. их было 527).

Важным моментом в деятельности Министерства путей сообщения по гидрологическому изучению рек было создание в 1912 г. сети постоянных гидрометрических станций со сроком действия до пяти лет. Вся эта сеть, руководившаяся гидрометрической частью Бюро исследований, была разбита на следующие районы: Камско-Тобольский — четыре станции на Чусовой и две — на Исети и Тоболе; Обь-Енисейский — две станции на Кети, две — на Большом Касе и одна на водоразделе; Донской — до пяти станций на Дону и Северном Донце, с выездом на притоки Дона; Северного пути — три станции на системе А. Виртембергского, а затем на Сухоне и Малой Северной Двине; Черноморско-Балтийский — станции на Днепре у Орши, Речицы, Киева и Лопманской Каменки, с выездом на Сож и западодвинский водораздел, и на Западной Двине в Сураже, с выездом на ловатский водораздел; Днепровско-Висленский — станции на Припяти у Мозыря и выше Пинска, две станции на

Западном Буге и на водоразделе; Петербургский — станции на р. Волхове у Гостинополя, на Волге у Твери, выше впадения р. Тверцы, с выездом на р. Вазузу, и в 4 км ниже верхневолжского бейшлэта, на р. Суне у Кивача, которая последовательно переходила на Выг, Кемь и другие реки беломорского побережья. Работали также станции в трех пунктах Верхней Лены.

До 1915 г. действовали волжские гидрометрические станции у Ярославля (с выездом на Унжу), у с. Вязовых (с выездом на Ветлугу, у г. Тетюши (с выездом на Каму), у пос. Дубовки. Таким образом, общее количество гидрометрических станций ведомства путей сообщения, действовавших в 1912—1917 гг., доходило до 40.

Результаты наблюдений гидрометрических станций своевременно обработаны и опубликованы не были, за исключением того, что нашло отражение в монографиях по отдельным рекам. Но опыт работы станций, хотя и кратковременный, позволил ряду авторов опубликовать труды, имевшие большое значение для совершенствования методов производства гидрометрических работ и для развития основ гидрометрии. К числу упомянутых выше ценных работ такого рода, принадлежащих Жуковскому, Шафаловичу, Зирингу, Близняку, Моисеенко, относится также опубликованная в 1915 г. статья Н. Н. Соколова «Наблюдения над проходом весенних вод в 1912 г. на нижнем Дону», в которой дано обстоятельное освещение организации и первых результатов работы донских гидрометрических станций (Цымянской, Калачевской, Усть-Донской), а также применявшихся на них методов наблюдений и обработки полученных данных.

Значительный интерес для развития русской гидрометрии представил доклад А. М. Рундо «О химическом методе измерения расхода воды», сделанный им в 1912 г. на XIV съезде русских деятелей по водным путям. В своем докладе автор, используя заграничный опыт, подробно останавливается на методике производства измерений и применяемых при этом приборах.

Впервые в России химический способ был применен в 1912 г. на Верхневолжской гидрометрической станции¹¹⁶.

Следует отметить еще доклад Е. В. Близняка «О желательности некоторых улучшений в водомерных наблюдениях на русских водных путях», который он сделал на XV съезде русских деятелей по водным путям в 1913 г. Автор этого доклада, исходя из богатой собственной практики по исследованию рек, внес ряд существенно важных предложений по улучшению

¹¹⁶ Н. М. Бернацкий, О. А. Юрков. Отчет о результатах измерения расходов воды химическим методом на Верхневолжской гидрометрической станции в 1913 г. «Ежегодник Петроградского округа путей сообщения». Пг., 1915.

расположения водомерных постов, состава, способов и контроля наблюдений, инструкций по водомерному делу, обработки данных наблюдений.

С 1914 г. состав работ на гидрометрических станциях и методы наблюдений и обработки полевых материалов определялись «Инструкцией для производства работ на постоянных гидрометрических станциях Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог». В этой детальной инструкции получили отражение достижения в области гидрометрии, имевшиеся к тому времени в России и за границей.

Исследования, проводившиеся на реках и водоразделах партиями Министерства путей сообщения, освещены в серии «Материалов для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий». Из монографий, представляющих наибольший интерес, следует отметить: Н. П. Пузыревского об Оке, В. М. Родевича о Сунгари, А. К. Старицкого о Селенге, С. А. Васильева о Лене, Е. В. Близняка об Енисее. На основе материалов исследований в 1906—1917 гг. были изданы также атласы, содержащие планы, продольные профили, водомерные графики и расходы воды по следующим рекам: Сунгари, Шилке, Амуру, Дону, Зее, Селенге, Верхней Лене, Енисею, Абакану, Тубе, Иртышу, Кубани, Вычегде, Выми и Северной Кельтме.

С 1910 г. значительно расширились гидрологические исследования Отдела земельных улучшений (ОЗУ) Главного управления землеустройства и земледелия. Об оживлении деятельности ОЗУ красноречиво говорит рост ассигнований на производимые им работы. Эти ассигнования, составлявшие в 1909 г. 1 338 189 руб., в 1910 г. увеличились до 2 362 167 руб., а в 1914 г. возросли до 14 207 406 руб., т. е. более чем в 10 раз.

Одной из главных причин расширения изыскательской деятельности ведомства земледелия была необходимость создания собственной базы производства хлопка. В то время основная масса необходимого для русской промышленности хлопка ввозилась из США. Между тем, обнаружилось, что американское правительство не собиралось продлевать заключенного в 1832 г. торгового договора, срок которого кончался в 1913 г., и, следовательно, снабжение текстильной промышленности России сырьем оказывалось под большой угрозой. Ввиду этого обстоятельства царское правительство, беспечно относившееся к развитию ирригации в Средней Азии и Закавказье, должно было принять меры для наверстания упущенного¹¹⁷.

Водные исследования Отдела земельных улучшений с 1910 г.,

¹¹⁷ ЦГИАЛ, ф. 426, оп. 1, д. 819, лл. 28—29.

кроме Туркестана и Кавказа, начали развиваться также в Крыму, Сибири, на Дальнем Востоке и на некоторых реках Европейской России¹¹⁸.

В отличие от речных исследований Министерства путей сообщения, главным образом преследовавших общее гидрографическое описание рек и выяснение их гидрологических особенностей лишь в связи с использованием их для судоходства, исследования Отдела земельных улучшений имели более гидрологическое направление. Задачей исследований ОЗУ было не столько получение плановых и морфометрических сведений о реках, сколько данных об их водоносности, о режиме жидкого и твердого стока. Это и понятно, так как исследования ОЗУ, наиболее интенсивно производившиеся в Средней Азии, имели в виду прежде всего задачу использования рек для ирригации.

Между тем, сведений о водоносности рек Средней Азии имелось очень мало. На небольшом числе водомерных постов (до 26) с более или менее длительными сроками наблюдения, впервые организованных в 1895 г. и находившихся в ведении Туркестанского управления земледелия и государственных имуществ, до 1907 г. было измерено всего 11 расходов воды¹¹⁹. Происходивший в декабре 1907 г. съезд гидротехников Туркестанского края¹²⁰ настойчиво подчеркнул необходимость гидрометрического исследования среднеазиатских рек. Однако прошло еще два года, пока это дело получило соответствующую организацию. В 1910 г. в Ташкенте при Туркестанском управлении земледелия и государственных имуществ была создана гидрометрическая часть, основной задачей которой явилось систематическое производство исследований с целью учета и изучения водных богатств края вообще и прежде всего его важнейших водных источников, а также производство наблюдений и опытов,

¹¹⁸ Исследовательская деятельность Отдела земельных улучшений в 1909—1915 гг. достаточно полно освещена в «Ежегодниках Отдела земельных улучшений», изданных десятью выпусками в 1910—1917 гг. (в 1913, 1914 и 1915 гг.— по две части), откуда главным образом нами и взяты приводимые ниже сведения.

¹¹⁹ В. Г л у ш к о в. Организация и работы гидрометрической части в Туркестанском крае в 1910 году. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год второй. СПб., 1911, стр. 222.

¹²⁰ Туркестанским краем до революции называлась территория, ограниченная с запада р. Уралом и Каспийским морем, с севера — линией между северной оконечностью Аральского моря и южной оконечностью оз. Балхаш, с востока — Алтаем и границей с Китаем, Индией, Пакистаном, Афганистаном и Ираном. Край (генерал-губернаторство) делился на пять областей: Сыр-Дарьинскую, Самаркандскую, Ферганскую, Семиреченскую и Закаспийскую, а также включал в себя полунезависимые ханства Хиву и Бухару.

необходимых для обоснования проектных гидравлических и гидрологических расчетов в соответствии с местными условиями. Заведующим гидрометрической частью был назначен известный впоследствии ученый-гидролог В. Г. Глушков. Успешная деятельность гидрометрической части в значительной мере была обязана его крупному организаторскому и научному таланту¹²¹.

В составе гидрометрической части имелась лаборатория для химических и механических анализов воды, наносов и грунтов и гидравлическая станция, где производились гидравлические наблюдения и опыты и тарировка гидрометрических приборов. Непосредственное руководство гидрометрическими работами осуществлялось по районам, имевшим границами водоразделы главных речных бассейнов. Гидрометрических районов было девять: I — Верхний Сыр-Дарьинский, II — Нижний Сыр-Дарьинский, III — Чуйский, IV — Илийский, V — Лепсинско-Каратальский, VI — Зеравшанский, VII — Верхний Аму-Дарьинский, VIII — Нижний Аму-Дарьинский и IX — Закаспийский.

На 62 реках, 10 каналах и 5 озерах было устроено 14 постоянных гидрометрических станций и 112 водомерных постов. На 68 станциях производились метеорологические наблюдения.

В 1910—1915 гг. на реках края было измерено более трех тысяч расходов воды¹²². Кроме измерения скоростей и расходов воды, наблюдений за уровнями и метеорологическими явлениями (температура, осадки, испарение), производилось измерение продольных уклонов, определение коэффициентов шероховатости рек и каналов и коэффициентов расходов искусственных сооружений; определялись потери на фильтрацию и испарение в каналах; выяснялось влияние орошения на режим грунтовых вод; производились наблюдения за движением и распределением наносов и за устойчивостью русел. Важно еще указать на специальные исследования, имевшие целью выяснение степени точности приборов и методов, применявшихся при гидрометрических работах. Исследования этого рода заключались: в определении степени точности измерения площади живого сечения; в выяснении влияния продолжительности наблюдения на величину скорости в данной точке (изучение пульсации);

¹²¹ Исследования гидрометрической части в Туркестане освещены в ее «Отчетах», изданных в 1911—1915 гг. (в 1911 г. — 2 выпуска, в 1912 г. — 2, в 1913 г. — 7, в 1915 г. — 6) и содержащих богатый фактический и научный материал.

¹²² Н. А. Писарев. Работы гидрометрической части в Туркестанском крае. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год седьмой, ч. II. Пг., 1917, стр. 90.

в сравнении различных эмпирических формул для определения средней скорости на вертикали; в сравнении результатов определения расходов на большом числе вертикалей с малой продолжительностью наблюдения и на малом числе вертикалей с большой продолжительностью наблюдения; в сравнении измерения скорости вертушкой па штанге и на тросе.

Представляет интерес кратко остановиться на методах основных гидрометрических работ, применявшихся гидрометрической частью в Туркестане¹²³.

Наблюдения за уровнями воды на всех водомерных постах и гидрометрических станциях производились по постоянным рейкам, разделенным на сотые доли сажени и прикрепленным к деревянным или железным рельсовым сваям, забитым в подводную часть берегового откоса. Если амплитуда колебания уровней превышала сажень, по откосу забивался ряд свай, одна выше другой, и к ним прикреплялись рейки длиной в 0,5—1 сажень. На постах, имевших рейки для измерения продольных уклонов, являвшиеся в то же время запасными на случай неисправности основной рейки, для контроля за работой наблюдателей обычно применялись рейки с различными делениями: основная рейка имела деления в 1/100 сажени, верхняя уклонная — в дюйм и нижняя уклонная — в два сантиметра.

Наблюдения за уровнями воды производились три раза в день: в 7 часов утра, 13 часов дня и 7 часов вечера; отсчеты по уклонным рейкам брались один раз в сутки — в 7 часов утра. Средняя за сутки высота уровня воды при трехкратных наблюдениях определялась по предложенной В. Г. Глушковым формуле, в которой учитывалась перавномерность по времени моментов наблюдений и неодинаковость уровня у правого и левого берега¹²⁴.

Измерение скоростей течения производилось вертушками, причем продолжительность наблюдения в точке определялась в 200—300 оборотов лопастей вертушки. Средняя скорость на вертикали находилась по трем скоростям, измеренным на 0,2, 0,6 и 0,8 глубины, по формуле:

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{4} (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}).$$

¹²³ В. Глушков. Работы гидрометрической части в Туркестанском крае. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год четвертый. СПб., 1913, стр. 387.

¹²⁴ В. Глушков. Вычисление среднего за сутки горизонта воды. Отчет гидрометрической части за 1911 г., т. I. СПб., 1912, стр. 354.

Если при малых глубинах скорость измерялась в двух точках — на поверхности и на $\frac{2}{3}$ глубины, — то средняя скорость вычислялась по формуле:

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{4}(v_{0,0} + 3v_{2/3}).$$

На особенно мелких местах скорость измерялась в одной точке — на 0,6 глубины.

При неравномерном распределении вертикалей строилась эпюра распределения средних скоростей по ширине реки и расход подсчитывался по площади этой эпюры, определяемой трехкратной обводкой планиметром (способ Гарлахера).

В нескольких случаях измерение расходов производилось параллельно с вертушкой предложенным Глушковым поплавком-интегратором.

Для ежедневного учета количества протекающей в реках воды строились кривые зависимости между расходами воды и уровнями (кривые расходов). Кривые строились по центрам тяжести группы точек, расположенных в отдельных интервалах высоты уровня, причем выправление полученных кривых и придание им плавного вида производилось графическим способом Глушкова, изложенным в его работе «Графическое построение эмпирических кривых»¹²⁵.

Для исследования наносов Глушковым была разработана подробная инструкция¹²⁶. Для учета взвешенных наносов применялся суммарный объемный способ. Пробы воды на мутность брались ежедневно по утрам из точки живого сечения, находящейся на $\frac{1}{5}$ ширины реки и 0,6 глубины, мензуркой системы Глушкова с регулированием объема пробы; для рек с известными кривыми расходов объем пробы назначался пропорциональным расходу воды, определяемому по показанию рейки; для остальных рек объем пробы был постоянным. В первом случае слитые вместе пробы характеризовали среднюю за данный период мутность воды в самой реке, а во втором случае — мутность воды в воображаемом канале постоянного расхода, отведенном от изучаемой реки. Для взятия проб применялся также изобретенный Глушковым батометр-тахиметр длительного наполнения.

Исследование мутности рек Туркестанского края в 1911—

¹²⁵ Важный в гидрометрии вопрос о построении кривых расходов получил разработку также в двух других статьях В. Г. Глушкова: «Возможные формы кривых, выражающих зависимость величины площадей и расходов водных потоков от высоты горизонта воды» (1910) и «К вопросу о построении кривых расходов воды и вообще эмпирических кривых вида $y = (b + x)^m$ или $x = A + By^n$ » (1915).

¹²⁶ Инструкция для учета приносимых рекою твердых наносов и растворенных веществ. Отчет гидрометрической части за 1910 год, т. I. СПб., 1911, стр. 283.

1912 г. показало, что мутность возрастает пропорционально увеличению расхода воды, что хорошо видно из следующих данных 1912 г.:

Реки	Среднегодовой расход (в м ³ .сек)	Мутность (в % к объему воды)
Аму-Дарья	207,0	0,496
Сыр-Дарья	54,7	0,181
Или	47,5	0,133
Нарын	41,2	0,109
Кара-Дарья	6,83	0,084
Чу	6,59	0,047
Талас	2,19	0,027

Обработка этих данных позволила вывести следующее уравнение прямолинейной зависимости между среднегодовыми значениями мутности M и расхода воды Q :

$$M = 0,029 + 0,00225Q.$$

Таким образом, гидрометрическая часть в Туркестане не только произвела гидрометрическое изучение почти всех рек этого края, но и внесла значительный вклад в дело развития гидрометрии, совершенствования ее методов и приборов. В работах Туркестанской гидрометрической части впервые было обращено серьезное внимание на изучение речных наносов, что объяснялось характером рек Средней Азии, отличающихся очень большой мутностью. Особенно много для обогащения гидрометрии новыми методами и приборами сделал в этот период В. Г. Глушков.

Для выяснения возможностей развития орошения в Туркестанском крае Отдел земельных улучшений организовал ряд изыскательных партий, которые к 1914 г. охватили исследованиями бассейны почти всех главнейших водных артерий края, причем главное внимание было сосредоточено на бассейне Сыр-Дарьи, занимающем центральное положение в крае и представляющем наибольший хозяйственный интерес как по водным запасам, так и по топографическим и почвенным условиям.

Обширные полевые работы в бассейне Сыр-Дарьи были начаты в 1912 г. и проводились пятью изыскательскими партиями (под руководством Г. К. Ризенкампа, И. А. Шовгенова, Н. П. Епанчина, И. Г. Александрова, П. В. Рогалевича).

До работы этих партий по Сыр-Дарье имелась лишь рекогносцировочная съемка, произведенная в 1900 г. Пузыревским и

Тухолкой. Партии ОЗУ произвели инженерно-гидрологическое изучение Сыр-Дарьи на всем ее протяжении, а также Кара-Дарьи, Нарына, Чирчика, Арыся и других рек бассейна.

Крупные изыскательские работы были развернуты в бассейне Аму-Дарьи, до того очень мало исследованном. По самой Аму-Дарье, представляющей наиболее многоводную реку Средней Азии, в трудах Аму-Дарьинской экспедиции Русского географического общества 1872 г. и экспедиции А. И. Глуховского 1893 г. имелись материалы, касавшиеся лишь нижней части реки. Начиная с 1911 г. для изысканий в бассейне Аму-Дарьи, а с 1914 г. также на реках Теджене и Мургабе, было создано несколько партий (под руководством Б. Л. Гржегоржевского, Н. В. Мاستицкого, В. В. Цинзерлинга, Д. Д. Букиничя). Этими партиями был получен обширный материал по Аму-Дарье на всем ее протяжении, включая низовые протоки, и по рекам ее системы — Пянджу, Вахшу, Кафирнигану, Сурхану, Кашка-Дарье, а также Теджену и Мургабу. Так, по Аму-Дарье была произведена двойная нивелировка урезов воды от афганской границы до Аральского моря, на протяжении более 1150 км, и составлены профили самого высокого, самого низкого и среднего горизонтов воды в реке.

С 1913 г. гидрометрические, съемочные и геологические работы велись в бассейне Зеравшана (партия А. В. Чаплыгина) для выяснения вопроса об устройстве водохранилищ для урегулирования водопользования в Зеравшанской долине.

Значительные исследования, начиная с 1910 г., были проведены в Семиречье. Работали партии по изысканиям на орошение в долине Чу (под руководством В. А. Васильева), с 1912 г. — на р. Или и ее притоках (под руководством Е. Е. Скорнякова), с 1913 г. в бассейнах рек Тентека, Лепсы, Ак-су и Каратала (под руководством Б. Х. Шлегеля). На многих (около 70) реках Семиречья велись гидрометрические наблюдения, начатые гидро-техническим отделом Семиреченского переселенческого района еще в 1905 г., по особенно разившимся с 1912 г.

Особая партия, организованная в 1913 г., производила гидро-геологическое обследование Туркестана. Гидрогеологические исследования производились также в соседних с Туркестаном так называемых степных областях (северная часть нынешней Казахской ССР). Но, кроме того, с 1910 г. отдельная партия работала в бассейне верхнего Иртыша, главным образом на его правых притоках, где были установлены водомерные посты и гидрометрические станции. В итоге работ, интенсивно проводившихся партиями ОЗУ и Средней Азии в 1910—1925 гг., инженерно-гидрологическими исследованиями были охвачены все значительные реки этого обширного края.

С 1910 г. началось систематическое изучение водоносности

и режима рек Кавказа. В 1910 г. здесь так же, как и в Туркестане, была организована гидрометрическая часть. Вся гидрографическая сеть Закавказья, где главным образом и производились гидрометрические работы, была разделена на шесть районов: Черноморский, Верхне-Курирский, Нижне-Курирский, Верхне-Араксинский, Нижне-Араксинский и Каспийский. Всего действовало около 10 гидрометрических станций и свыше 100 водомерных постов, из них 2 лимниграфных

Плодотворность деятельности гидрометрической части на Кавказе характеризуется не только полученными ею фактическими данными по рекам края, но и значительным вкладом в разработку методов гидрометрии. В научном отношении представили интерес изданные в 1913 г. в Тифлисе работы руководителя гидрометрической части А. М. Эссена «Изучение паводков» и «Статистические методы обработки гидрометрических данных».

В последней работе А. М. Эссен, опираясь на математическую статистику, впервые в русской гидрологической литературе научно разбирает вопрос о продолжительности гидрометрических наблюдений для получения устойчивых характеристик режима стока. Чтобы подчеркнуть практическую важность этого вопроса, он привел следующий пример. Когда в Гидрологическом комитете обсуждалось предложение об организации постоянной гидрометрической части в Туркестане, часть членов комитета склонялась к тому, что для получения практических выводов достаточно изучать режим реки в течение двух-трех лет, для чего временные экспедиции подходят более, чем постоянная организация.

На примере статистической обработки 32-летних данных о горизонтах Западной Двины Эссен показывает, что только многолетние наблюдения могут дать «полную картину режима реки, позволяющую научно определить основные данные для проектов регулирования реки и всевозможных гидротехнических сооружений на ней»¹²⁷.

Изыскательские работы производились на реках Северного Кавказа и Закавказья. На Северном Кавказе эти работы, имевшие целью нужды орошения, регулирования рек, обводнения и устройства водохранилищ в верховьях рек, были сосредоточены в бассейне Терека. При этом повторно были изучены (партией Ю. В. Кашкина) низовья Терека и впервые горные реки бассейна — Ардон, Сунжа, Баксан, Ургун, Чегем, Черек, Урух. В Закавказье исследования для организации орошения и борьбы с наводнениями производились главным образом в низовьях Куры и Аракса, причем особенно подробно был изучен Аракс.

¹²⁷ А. М. Эссен. Статистические методы обработки гидрометрических данных. Тифлис, 1913, стр. 25.

Недостаток воды в юго-восточной части Крыма, имеющей благоприятные условия для штепсивного сельского хозяйства, а в прибрежной полосе — для развития курортов и санаториев, уже давно, начиная со 30-х годов XIX столетия, обратил на себя внимание правительства, общественных и земских кругов. Однако обстоятельное изучение водного хозяйства Крыма началось лишь в 1911 г. Задачей этого изучения было выяснение возможности регулирования стока атмосферных вод с целью использования их для орошения и обводнения. С 1913 г. работы в Крыму были поручены партии Крымских водных изысканий (во главе с К. Д. Кельтсером).

Руководителем гидрометрического отдела партии был Д. И. Кочерин (1882—1928), явившийся в советские годы одним из наиболее видных гидрологов, много сделавшим для создания основ инженерной гидрологии (расчетов стока), составившим первую карту изолиний норм стока.

Особенность гидрометрических работ в Крыму определялась, во-первых, необходимостью учета дебита самых мелких объектов стока — родников; во-вторых, необходимостью измерения расходов подземных речных потоков, скрывающихся в галечных отложениях русел рек; в-третьих, огромной амплитудой колебания стока рек. «Так, если обычный меженный расход реки, — пишет Д. И. Кочерин, — имеет десятки тысяч ведер в сутки, то паводочный расход (во время ливней. — *И. Ф.*) составляет десятки миллионов»¹²⁸. Д. И. Кочериным была разработана методика гидрометрических исследований в указанных своеобразных условиях, характеризующих водные объекты Крыма. Систематические измерения расходов воды производились в 1200 источниках (родниках) двадцати речных бассейнов и на 120 реках и балках.

С 1910 г. были усилены водные исследования в ряде районов Сибири и Дальнего Востока, а именно в районах, предназначенных для освоения переселенцами из Европейской России.

С организацией Барабинской изыскательно-строительной партии (под руководством А. Ф. Важеевского) вновь оживились начатые еще в 1895 г. изыскания и гидротехнические работы в Барабинской степи. Систематическими исследованиями были охвачены реки Омь, верховья Тары и Чулыма, а также многие притоки Оми.

В 1914 г. Рыбинско-Каргалинской партией ОЗУ (под руководством В. И. Волка) были продолжены начатые в 1896 г. изыскания в средней части Тобольской губ., между реками Иртышом, Ишимом и Ошей, с целью осушения этого района Ишимской степи. Для выяснения водного режима рек и определения

¹²⁸ Д. Кочерин. Гидрометрические исследования в Крыму. «Гидрологический вестник», 1916, № 1.

коэффициентов стока для некоторых характерных водосборных площадей здесь в 1914 г. были организованы шесть водомерных постов, два гидрометрические и четыре дождемерные станции.

В связи с проектом орошения Койбальской степи, расположенной между реками Енисеем, Абаканом и предгорьем Саян, организованной в 1912 г. партией (под руководством Г. В. Рудницкого) было произведено повторное (после работ партии МПС) изучение Абакана и ее притоков Бей и Табата.

На Дальнем Востоке изыскания проводились для выяснения возможностей осушения земель, обводнения населенных пунктов и борьбы с наводнениями. Партия по изысканиям в Амурской области (под руководством П. П. Стакла), развернувшая свою деятельность с 1910 г., содержала на реках 25 водомерных постов; велись также дождемерные наблюдения и изучалось испарение с водной поверхности и с различных видов растительного покрова.

Приморская изыскательская партия (под руководством А. И. Булгакова), начиная с 1913 г., обследовала притоки Уссури; гидрометрические наблюдения велись здесь на 44 водомерных постах и на гидрометрической станции на р. Имане.

В рассматриваемый период значительно усилились инженерно-гидрологические изыскания также в бассейнах рек Европейской России. Для исследования водного режима рек в 1914 г. при Отделе земельных улучшений была организована гидрометрическая часть, руководство которой было поручено В. Г. Глушкову. Расширение гидрометрических и связанных с ними метеорологических наблюдений в Европейской России по линии ОЗУ достаточно характеризуется увеличением ассигнований на эти наблюдения с 10 568 руб. в 1910 г. до 120 000 руб. в 1914 г. До 1914 г. ведомство земледелия имело в Европейской России 110 водомерных постов и 37 метеорологических станций. К началу 1916 г. действовало 245 постов. Поскольку многие посты закрывались, а вместо них открывались новые, общее число пунктов водомерных наблюдений, действовавших в разное время, было значительно больше. До 1917 г. наблюдения производились на 182 реках, 28 каналах, 15 озерах, 4 болотах, 1 море. Число метеорологических станций возросло в 1915 г. до 113 (в том числе 5 испарительных станций и 11 снегомерных пунктов, линий и участков).

Было измерено свыше 2700 расходов воды, причем большая часть измерений производилась в период прохода весенних вод. Гидрометрическая часть продолжала начатое в 1908 г. Водомерной комиссией Академии наук изучение весенних половодий путем рассылки анкеты. В 1914 г. было разослано — 42 000 и в 1915 г. — 15 000 анкет; заполненных анкет было получено около 2800 в каждом году.

Производились также экспедиционные исследования в бассейнах рек Европейской России. В 1913 г. начала работать Полесская изыскательская партия (во главе с Е. В. Оппоковым), основной целью которой было исследование рек Полесья для составления проектов регулирования их в связи с намечавшимися крупными осушительными работами. Работы партии производились на реках Припяти, Птичи, Брагинке.

В 1914 г. были начаты изыскательские работы в верхневолжском заболоченном районе (партия К. П. Милославского) и в засушливых районах Нижней Волги, где действовали две партии; первая — в правобережной части Поволжья (партия Г. И. Тарловского), вторая — в левобережной заволжской части (партия И. И. Фолимонова); работа обеих партий объединялась центральной организацией (во главе с Р. П. Спарро). Гидрометрические наблюдения этих партий были сосредоточены на второстепенных реках волжского бассейна. Обе нижневолжские партии особое внимание уделили изучению весеннего стока, производя наблюдения за ним на реках и балках, а также наблюдения за снеговым покровом.

Организованной в 1915 г. Полтавской изыскательской партией (под начальством Ю. В. Ланге) изучались реки Сула и Хорол, отчасти Псел, в целях осушения заболоченных пойм этих рек.

Относительно водных исследований ОЗУ в Европейской России еще можно указать на начатые в те годы работы по изучению нижних участков и плавней Днестра и Днепра.

Следует, однако, сказать, что экспедиционные исследования ОЗУ в Европейской России закончены не были.

Заканчивая обзор деятельности Отдела земельных улучшений в области инженерно-гидрологических исследований, необходимо указать на проводившееся им в рассматриваемый период изучение гидро модуля. Гидро модуль — это то расчетное количество воды, которое необходимо дать на единицу орошаемой площади или отвести с единицы осушаемой площади, чтобы создать для растений наиболее благоприятные водные условия. Таким образом, если задачей гидрометрических исследований является учет водных богатств страны, то изучение гидро модуля имеет целью наиболее правильное и выгодное использование их в земледелии. Понятно, что с величиной гидро модуля связаны размеры оросительных и осушительных каналов. Работами по изучению гидро модуля, начатыми в 1912 г., были охвачены многие засушливые и избыточно увлажненные районы страны. Организатором и руководителем работ по исследованию гидро модуля, обеспечившим успех этого важного дела, был А. Н. Костяков (1887—1957), возглавлявший гидро модульную часть ОЗУ.

К числу проводившихся Отделом земельных улучшений мероприятий, имевших значение для развития гидрологии, отно-

сятся съезды инженеров-гидротехников. Значительно более плодотворным, чем 1-й (состоявший в 1908 г.), был 2-й съезд, происходивший в январе 1913 г.

Съезд рассмотрел многие научные и технические вопросы мелиоративно-гидрологической деятельности ОЗУ, по которым был представлен 61 доклад. Значительный интерес для развития инженерных расчетов стока представляли доклады «О нормах стока для расчета осушительных каналов» И. А. Крогзема и «Нормы стока для расчета прудовых водосливов» Г. И. Тарловского, о которых выше уже говорилось.

Вследствие усилившегося интереса к мелиоративному делу в рассматриваемые годы возникла общественная организация, поставившая своей целью проведение периодических съездов в различных районах страны для привлечения к обсуждению вопросов мелиорации широких кругов общественности. Такие съезды состоялись в Одессе, Киеве, Новочеркасске и Москве. В начале 1914 г. эта организация оформилась как Совет мелиоративных съездов в России с участием в нем как выборных лиц, так и представителей заинтересованных ведомств. Среди вопросов, которыми занимался Совет мелиоративных съездов, представляет интерес вопрос о создании центрального научного гидрологического учреждения. Для разработки этого вопроса в мае 1914 г. Совет образовал особую комиссию, в которую входил ряд видных ученых, в том числе Б. Б. Голицын, Н. А. Каминский, Д. И. Мушкетов, П. В. Отоцкий, В. Г. Глушков, В. Н. Сукачев. После нескольких месяцев изучения вопроса комиссия высказалась за создание при Главном управлении землеустройства и земледелия Гидрологического комитета и Института опытной гидрологии при нем с сетью районных гидрологических станций и лабораторий. О цели проектируемых учреждений говорилось, что она заключается: «а) в согласовании и объединении всех гидрологических исследований в империи, б) в освещении научных вопросов гидрологического характера, касающихся водного хозяйства страны при производстве гидротехнических и иных работ и изысканий, в) в собирании и разработке материалов, необходимых для выяснения гидрологических условий страны и г) в организации самостоятельных исследований и наблюдений с разработкой соответствующих вопросов методики для указанных в предыдущих пунктах целей»¹²⁹. При обсуждении характера деятельности будущего центрального гидрологического учреждения комиссия (кратко называвшаяся гидрологической) решила, во-первых, определить предмет и состав гидрологии и, во-вторых, ее связь с другими

¹²⁹ «Труды Совета мелиоративных съездов в России. Группа научных вопросов. Труды Комиссии по разработке вопроса о центральном гидрологическом учреждении в России». Пг., 1915, стр. 7.

научными дисциплинами, имеющими отношение к изучению вод. В связи с этим комиссии был представлен ряд записок, в том числе краткая записка В. Г. Глушкова «О гидрологии»¹³⁰.

В своей записке В. Г. Глушков, кроме общего понятия гидрологии как науки о жизни воды на земном шаре, впервые в литературе дал следующее определение ее содержания: собственно гидрология, писал он, «рассматривает типичные явления в жизни воды и выясняет причинную связь и их взаимодействие с различными комплексами внешних условий и с различным чередованием этих комплексов во времени и пространстве». Здесь же Глушков дал следующую схему гидрологических дисциплин:

Гидрология

гидрономия				
гидрофизика		гидромеханика		гидрохимия
объекты	гидрология	гидрография	гидрометрия	
вода в атмосфере	гидрометеорология	гидрометеорография	гидрометеорометрия	
то же, в верхних слоях	гидроаэрология	гидроаэрография	гидроаэрометрия	
вода на поверхности земли	жидкие потоки	потамология	потамография	потамометрия
	ледники	гляциология	гляциография	гляциометрия
	озера	лимнология	лимнография	лимнометрия
подземная вода	гидрогеология	геогидрография	геогидрометрия	
почвенная вода	гидропедология	педогидрография	педогидрометрия	

Материалы гидрологической комиссии Совета мелиоративных съездов были, несомненно, полезными при организации в 1919 г. Российского гидрологического института.

Освещая водные исследования и развитие гидрологии суши в начале XIX в., мы остановились на деятельности в этой обла-

¹³⁰ «Труды Совета мелиоративных съездов в России...», стр. 16.

сти лишь двух ведомств: путей сообщения и земледелия. Следует, однако, сказать что по некоторым рекам севера Сибири сведения были получены также в результате работы небольших экспедиций, проводившихся Русским географическим обществом. Отметим еще ценную инициативу гидрологической комиссии Географического общества, предпринявшей в 1915 г. издание библиографического журнала по гидрологии — «Гидрологического вестника» (вышло четыре номера в 1915 г. и два номера в 1916 г.). Кроме библиографических заметок, в журнале печатались также отдельные научные статьи и сообщения о гидрологических исследованиях. Так, в № 1 за 1915 г. была опубликована упомянутая выше статья В. Г. Глушкова «О гидрологии», а в № 1 за 1916 г. статья Н. Е. Долгова о ливневом стоке.

Как уже указывалось, с началом войны деятельность партий по изучению рек и вообще гидрологические исследования сильно пошла на убыль, а к 1917 г. почти полностью прекратились.

Развитие гидрологии суши в нашей стране, причем несравнимо более быстрыми темпами, чем до 1917 г., вновь началось после Великой Октябрьской социалистической революции.

5. Краткие выводы

В связи с потребностями улучшения и развития внутренних водных путей и возникновением проблемы «белого угля» после перерыва в гидрографических работах, наступившего в конце XIX в., с 1904 г. в ведомстве путей сообщения вновь начинается оживление в водных исследованиях. При этом, наряду с работами на малоизученных реках Европейской России, большое внимание уделяется исследованию рек Сибири и Дальнего Востока.

В 1909 г. при Министерстве путей сообщения создается Междуправительственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водных сообщений империи, которая наметила схему главных магистралей внутренних водных путей и составила план гидрографических исследований в 1911—1915 гг. и план гидротехнических работ на внутренних водных путях в 1912—1916 гг. Для производства намеченных планом на реках и водоразделах исследований, начатых весной 1911 г., был создан ряд крупных изыскательских партий под руководством Е. В. Близняка, А. А. Фидмана, О. О. Тейхмана, Л. П. Белявина, С. А. Васильева, Е. И. Иогансона и др. Общее руководство деятельностью изыскательских партий осуществлялось созданным в 1910 г. в Управлении внутренних водных путей и шоссейных дорог МПС бюро исследований во главе с В. М. Родевичем. Изыскания проводились по значительно более полной программе, чем в период работы партий Навигационно-описной

комиссии. В результате работ выяснялись не только плановые и морфометрические данные о руслах и поймах рек, но и их гидрологические особенности. В ряде случаев производилось изучение речных наносов, донного льда и других явлений зимнего режима рек.

Изыскательскими партиями МПС было создано дополнительно к действовавшим большое количество новых водомерных постов. Водомерная сеть ведомства путей сообщения к началу 1917 г. составила 845 постов. Важным моментом в гидрологическом изучении рек явилась организация в 1912 г. сети постоянных гидрометрических станций со сроком действия до пяти лет, число которых в 1912—1917 гг. доходило до сорока. Водные исследования и гидрологические наблюдения проводились по подробно разработанным инструкциям, издание которых само по себе явилось значительным вкладом в гидрологию.

С 1910 г., после длительного перерыва, интенсивные инженерно-гидрологические исследования организует Главное управление землеустройства и земледелия. Изыскательская деятельность партий Отдела земельных улучшений (ОЗУ) и местных органов указанного управления сосредоточивается главным образом в Средней Азии и Закавказье, будущих районах отечественного хлопководства, а затем в Крыму, Сибири, на Дальнем Востоке, на некоторых второстепенных реках Европейской России. В отличие от исследований ведомства путей сообщения, основной целью которых являлось гидрографическое описание рек, а их гидрологические особенности выяснялись лишь в связи с задачей использования рек для судоходства, исследования ОЗУ имели более гидрологическое направление, в них больше внимания уделялось изучению водоносности рек и стоку наносов. В 1910 г. в Туркестане и Закавказье, а в 1914 г. при ОЗУ для работ в Европейской России были созданы гидрометрические части, организовавшие широкую сеть водомерных постов и гидрометрических станций. Особенно интенсивной и плодотворной и в практическом и научном отношении была деятельность гидрометрической части в Туркестане, руководившейся В. Г. Глушковым.

В итоге водных исследований, проведенных в рассматриваемые годы, в основном завершается гидрографическое описание всех главных и большинства второстепенных рек Европейской России и почти всех главных рек Азиатской России. В эти годы получает дальнейшее развитие сеть водомерных постов и гидрометрических станций, общее число которых к 1917 г. превысило 1300. В результате работы гидрометрических станций происходило совершенствование и создание новых методов и приборов гидрометрии. Большим вкладом в теорию гидрометрии и в разработку ее практических методов явились опубликованные в те

годы работы Н. Н. Жуковского, А. В. Шафаловича, Н. Н. Соколова, А. А. Зиринга, Е. В. Близняка, А. М. Рундо, С. И. Моисеенко, А. М. Эссена, Д. И. Кочерина и особенно В. Г. Глушкова.

Гидрометрическими частями в Туркестане и Закавказье было положено начало изучения речных наносов.

В изучении зимнего режима рек вообще сделано было немного, но большое внимание было уделено проблеме образования донного льда, давно привлекавшей к себе интерес исследователей, особенно же обострившийся в рассматриваемые годы в связи с перебоями в работе петербургского водопровода и огромными ледяными зажорами на р. Неве. Первые попытки объяснения образования донного льда принадлежат французским физикам Ф. Араго и Л. Гей-Люссаку (30-е годы XIX в.). Объяснить явление донного льда по наблюдениям на реках Сибири пытались также многие русские ученые, в том числе Щукин, А. Ф. Миддендорф, В. А. Обручев и др. Специальные исследования по донному льду в начале XX в. были проведены М. Ф. Ционглинским, В. М. Лохтиным, Л. Л. Владимировым и др. В 1915 г. в России впервые было начато лабораторное изучение проблемы донного льдообразования. В результате этого изучения В. Я. Альтбергом была выдвинута новая теория образования донного льда.

Другой теоретической проблемой, имеющей важное практическое значение, в разработку которой русские гидрологи внесли в рассматриваемый период большой вклад, была проблема речного стока.

Уже в последней четверти XIX в., и особенно благодаря А. И. Воейкову, учение о стоке приобретает прочную научную основу. Сформулированное Воейковым положение, что реки являются продуктом климата и что сток рек представляет собой прежде всего результат осадков, получает подтверждение в работах по стоку, принадлежащих М. А. Рыкачеву, Е. А. Гейнцу, Е. В. Оппокову, а также иностранным авторам. При этом выясняется, что не только абсолютные количества стока следуют за осадками, но и коэффициент стока не остается, как считалось, постоянной величиной, а также зависит от осадков. В результате исследования вопроса о накоплении и расходовании влаги грунтами А. Пенк и Е. В. Оппоков формулируют уравнение водного баланса речного бассейна.

В конце XIX и начале XX в. появляются формулы, выражающие сток в функции осадков. Более общее выражение этой зависимости, чем у зарубежных авторов, в русской литературе дает Э. М. Ольдекоп. Он же устанавливает типы бассейнов по соотношению между осадками, испарением и стоком и дает глубокий анализ факторов стока.

Большое внимание в рассматриваемое время уделяется разработке методов расчета максимальных расходов дождевых и

талых вод. В этой области особенно выделились работы Ф. Г. Зброжека и Н. Е. Долгова, но также должны быть названы имена А. Пушечникова, А. О. Карачевского-Волка, Л. Ф. Николаи, Р. П. Спарро, Ю. В. Ланге, Г. И. Тарловского, А. Н. Костякова, Г. Д. Дубелира. В своем теоретическом исследовании ливневого стока Ф. Г. Зброжек впервые анализирует влияние на максимальный расход различных соотношений между временем добегания стока из наиболее отдаленных пунктов бассейна и временем выпадения дождя, вводя при этом понятие площади одно-временного стока. Метод расчета ливневых максимумов, предложенный Н. Е. Долговым, основывался на фактическом материале, полученном в результате исследований стока в натуре, что позволило автору подойти к построению формулы максимального расхода с учетом реальных условий его формирования. В работах Ф. Г. Зброжека, Г. И. Тарловского, А. Н. Костякова получил объяснение вопрос о причинах редукции стока в зависимости от величины водосборной площади.

Изучение истории развития методики расчетов максимального стока в дореволюционное время показывает, что русские ученые внесли в эту важную область инженерной гидрологии свой значительный и оригинальный вклад и что, следовательно, неправильно утверждать, как это делают некоторые авторы, будто до революции в России в расчетах максимального стока применялись почти исключительно формулы Карачевского-Волка и австрийского инженера Ишковского (в действительности же формула последнего вообще не имела большого распространения в России). Однако следует заметить, что нормы и формулы максимальных расходов дореволюционных лет базировались на весьма ограниченных фактических данных. Недостатками расчетных методов того времени являются, во-первых, то, что в них еще не вводилось условие определенной обеспеченности расчетного расхода и, во-вторых, расчеты производились без учета аккумуляции стока перед сооружением, ввиду чего формулы давали значение лишь максимальной ординаты графика притока, а не всего объема половодий и наводков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе освещены основные этапы развития гидрологии суши в дореволюционной России в связи с развитием ее в других странах. В работе показано, что накопление элементов гидрологии началось еще в древние времена и что гидрология, прежде чем прийти в XIX в. к правильным представлениям об общем круговороте воды в природе и к выяснению закономерностей режима вод суши и взаимодействия их с земной поверхностью и с атмосферой, а в 20-х годах XX в. выделиться в самостоятельную научную дисциплину, должна была длительное время накапливать фактические данные. Основными стимулами развития гидрологии суши являлись потребности хозяйственной деятельности людей, так как в жизни человеческого общества воды суши имеют исключительно важное значение.

В работе показано, что формирование научных гидрологических представлений происходило (и происходит) путем преодоления на известных этапах, обуславливавшихся достижениями также в других областях знания, неправильных представлений и противоречивых точек зрения.

Водохозяйственный опыт русского и других народов России позволил русским ученым и инженерам внести в создание гидрологии суши большой вклад, причем это относится как к общим проблемам гидрологии, так и к разделам, имеющим важное практическое значение: учение о стоке и методы расчета максимальных расходов и учение о русловых процессах и методы регулирования рек. В. Г. Глушков, касаясь итогов развития гидрологии в России, говорил в 1929 г., что «в прошлом была проделана громадная работа по описанию и исследованию вод России, было исполнено огромное количество теоретических и методологических исследований по гидрологии»¹³¹, что имелись не

¹³¹ В. Г. Глушков. Десятилетие Государственного гидрологического института и развитие идей гидрологии. «Известия Государственного гидрологического ин-та», 1929, № 25.

только отдельные кирпичи для построения гидрологии, но и целые части здания, притом «в большом изобилии» и «прекрасного качества». В 1915 г. В. Г. Глушков впервые дал определение гидрологии как самостоятельной науки, раскрыл ее содержание. В те же годы неоднократно обсуждался вопрос о создании в России научного гидрологического учреждения. Выделение гидрологии, находившейся в то время в курсах физической географии и водных сообщений, в самостоятельную научную дисциплину и объединение исследований по гидрологии в специальном научном учреждении становилось назревшей задачей.

Осуществление этой задачи было ускорено благодаря Великой Октябрьской социалистической революции.

ЛИТЕРАТУРА

- Авдиев В. И. История древнего Востока. М., 1948.
- Акулов К. А. Выправительные работы на Днепре. СПб., 1914.
- Алопеус. Описание вод Карелии. «Труды Вольного экономического общества», 1793, ч. XVII (47).
- Альтберг В. Я. Подводный лед. М.—Л., 1939.
- Андреев А. П. Ладожское озеро. СПб., 1875.
- Аносов А. В. Очерк развития водомерного дела на реках Казанского округа путей сообщения. «Сборник Казанского округа путей сообщения». Казань, 1917.
- Аносов А. В. Предшественники речного землечерпания и выправительных работ. Казань, 1915.
- Анучин Д. Н. Верхневолжские озера и верховья Западной Двины. Рекогноспировки и исследования 1894—1895 гг. М., 1897.
- Анучин Д. Н. Наводнение в Москве 1908 года и вопрос об изучении наводнений в России. «Землеведение», 1908, кн. II.
- Аполлов Б. А. Учение о реках. М., 1951.
- Араго Ф. Избранные статьи из записок о научных предметах, т. I. СПб., 1866.
- Бартольд В. В. К истории орошения Туркестана. СПб., 1914.
- Бартольд В. В. Сведения об Аральском море и низовьях Аму-Дарьи с древнейших времен до XVII века. «Известия Туркестанского отдела Русского географического общества», 1902, т. IV, вып. II, Ташкент.
- Бахметев Б. А. Гидравлика открытых русел. М., 1935.
- Бахтурин. Краткое описание внутреннего Российской империи водохозяйства между Балтийским, Черным, Белым и Каспийским морями, служащее изъяснением изданной при Департаменте водяных коммуникаций гидрографической карты. СПб., 1802.
- Бейкер Дж. История географических открытий и исследований. Перев. с англ. М., 1950.
- Белявский П. Е. Обзор трудов по исследованию и изучению рек Европейской России. 1875—1890 гг.
- Берг Л. С. Аральское море. Опыт физико-географической монографии. СПб., 1908.
- Берг Л. С. Климат и жизнь. М., 1947.
- Берг Л. С. Очерк истории исследования озер России в гидрологическом отношении. «Известия РГИ», 1923, № 5.
- Берг Л. С. Очерки по истории русских географических открытий. М., 1946.
- Берг Л. С. Озеро Иссык-Куль. «Землеведение», 1904, т. XI, кн. I—II.

- Берг Э. Повторяемость и географическое распределение ливней в Европейской России. «Записки Академии наук», 1892, прилож. № 2 к т. XVIII.
- Бернацкий Н. М., Юрков О. А. Отчет о результатах измерения расходов воды химическим методом на Верхневолжской гидрометрической станции в 1913 г. «Ежегодник Петроградского округа путей сообщения». Пг., 1915.
- Беляев И. Д. О географических сведениях в древней России. «Записки Русского географического общества», 1852, кн. VI.
- Биллярский. Материалы для географии Ломоносова, СПб., 1865.
- Близняк Е. В. Водные исследования. М., 1952.
- Близняк Е. В. К вопросу о пересмотре формул для определения норм стока ливневых вод. «Труды НГТ НКПС», вып. 26, М., 1926.
- Близняк Е. В. О желательности некоторых улучшений в водомерных наблюдениях на русских водных путях. СПб., 1913.
- Близняк В. Енисей от г. Красноярска до г. Енисейска, ч. II. Пг., 1916.
- Боголепов М. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. «Землеведение», 1907, кн. III—IV.
- Богуславский Н. А. Волга как путь сообщения. СПб., 1887.
- Богуславский Н. Определение скоростей течения Днепра. «Журнал Министерства путей сообщения», 1878, т. I.
- Боднорский М. Ломоносов как географ. М., 1912.
- Боднарский М. С. Очерки по истории русского землеведения. М., 1947.
- Бомар де, В. Описание вод всякого рода. М., 1789.
- Борзов А. А. К вопросу об асимметрии междуречных плато. «Сборник в честь семидесятилетия профессора Дмитрия Николаевича Анучина». М., 1913.
- Броунов П. И. Курс физической географии. Пг., 1917.
- Брикнер Э. А. Баланс круговорота воды на земле. Перев. с нем. «Почвоведение», 1905, т. 7, № 3.
- Бусенго. О влиянии разработки земель и вырубки лесов на уменьшение текущей воды. «Журнал путей сообщения», 1838, т. III.
- Бутаков А. Сведения об экспедиции, снаряженной для описи Аральского моря в 1848 году. «Вестник Русского географического общества», 1853, ч. 7.
- Бушман А. Сток дождевых вод в сухих оврагах. «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1902, № 10.
- Бушман А. К статье «Сток дождевых вод в сухих оврагах». «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1903, № 5.
- Быков В. Д. Исторические пути развития в СССР учения о стоке. В сб.: «Вопросы географии», М., № 26, 1951.
- Бэр К. М. Почему у наших рек, текущих на север или на юг, правый берег высок, а левый низмен. «Морской сборник», 1857, т. XXVII, № 1.
- Бюффон Ж. Всеобщая и частная естественная история, ч. II, СПб., 1811.
- Варгентин П. О натуральной истории вообще. «Сочинения и переводы, к пользе и увеселению служащие». Книжка за март 1762 г.
- Варений Б. География генеральная или повсюдная в нейже эффекции или действия генеральная земноводного круга толкуются автором Берн. Варением медиц. доктором. 1640, М., 1718.
- Вейнберг Я. Вопрос об уменьшении вод в источниках и реках. «Русский вестник», 1878, т. 133.
- Вейц. О происхождении льда на дне некоторых рек. «Горный журнал», 1836, ч. II, кн. 11.
- Великанов М. А. Гидрология суши. Л., 1948.

- Великанов М. А. Гидрология суши за 30 лет. «Известия АН СССР, серия географическая и геофизическая», 1947, № 5.
- Великанов М. А. Динамика русловых потоков, т. I — 1954, т. II — 1955.
- Великанов М. А. Русловые процессы в освещении классиков гидрологии. «Труды Института географии АН СССР», 1948, вып. 39.
- Верещагин Г. Ю. Байкал. М., 1949.
- Вернадский В. И. История минералов земной коры, т. II. История природных вод. ч. 1. вып. 1. Л., 1933.
- Веселовский К. С. О климате России. СПб., 1857.
- Вислоцкий В. По поводу статьи инженера А. А. Бушмана. Сток дождевых вод в сухих оврагах. «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1903, № 5.
- Владимиров Л. Л. Новые понятия о процессах замерзания рек и об образовании зимних заторов льда. СПб., 1907.
- Владимиров Л. Л. Образование льда на дне рек. Явления ледохода от всплывания донного льда. Процессы замерзания вод стоячих и текущих. СПб., 1904.
- Водяные сооружения. Перев. с нем. «Журнал Министерства путей сообщения», 1880, т. III, кн. 2.
- Воейков А. И. Климаты земного шара, в особенности России. 1884. Избранные сочинения. Т. I. М.—Л., 1948.
- Воейков А. И. О влиянии растительности на количество выпадающих осадков (дожда и снега). «Сельское хозяйство и лесоводство», 1888, № 10.
- Воейков А. И. Реки России. 1882.
- Воейков А. И. Рецензия на книгу М. А. Рыкачева «Вскрытия и замерзания вод в Российской империи». «Известия Русского географического общества», 1887, т. XXII.
- Воейков А. И. Человек и вода: способы пользования водою и их географическое распределение. 1909. В сб.: «Воздействие человека на природу». М., 1949.
- «Вопросы гидротехники свободных рек». Сборник работ. М., 1948.
- «Вопросы речного быта». Сборник статей. СПб., 1907.
- Вселенная и человечество. Под ред. Г. Крамера. Перев. с нем., т. I. Изд. 2, 1896.
- Вскрытие, замерзание и продолжительность навигации на внутренних водных путях Европейской России в 1883—1902 гг. «Пути сообщения России», 1914, № XI.
- Высоцкий Г. Н. О гидроклиматическом значении лесов для России. «Лесной журнал», 1911, вып. 1—2.
- Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. М., 1938.
- Г. О прибывании и убывании воды в Неве-реке. «Ведомости Академии наук», 1741, ч. 47, 48, примечание.
- Геденштром М. Открытки о Сибири. СПб., 1830.
- Гейлц Е. А. Водоносность бассейна верховьев Оки в связи с осадками. СПб., 1903.
- Гейлц Е. А. К вопросу о влиянии осушения Пивекских болот на осадки соседних местностей. 1892. «Записки Академии наук», 1893, т. LXX, приложение № 9.
- Гейлц Е. А. Об осадках, количестве снега и об испарении на разных бассейнах. Европейской России. СПб., 1898.
- Гельмерсен Г., Вильд Г. Донесение комиссии, рассматривавшей записку Г. Векса об уменьшении количества воды в источниках и реках. СПб., 1876.
- Гельфер А. Методы обработки наблюдений, добытых систематическими исследованиями на гидрометрических станциях 1-го и 2-го разряда в

- на речных постах при мельницах в бассейне верховьев реки Оки и ее притоков. СПб., 1903.
- Геннин В. Описание уральских и сибирских заводов. М.—Л., 1937.
- Герсеванов М. Н. Очерк гидрографии Кавказского края. СПб., 1886.
- Гершельман Ф. Э. Исторический очерк внутренних водных сообщений. СПб., 1892.
- Глуховской А. И. Пропуск вод р. Аму-Дарьи по старому ее руслу в Каспийское море и образование непрерывного водного Аму-Дарьинско-Каспийского пути. СПб., 1893.
- Глушинский И. П. Водяные сообщения (литографированное издание лекций 1861—62 г., записанных Н. В. Бернацким).
- Глушков В. Вычисление среднего за сутки горизонта воды. Отчет гидрометрической части за 1911 год, т. I. СПб., 1912.
- Глушков В. Графическое построение эмпирических кривых. Отчет гидрометрической части за 1911 год, т. I. СПб., 1912.
- Глушков В. Г. Десятилетие Государственного гидрологического института и развитие идей гидрологии. «Известия ГГИ», 1929, № 25.
- Глушков В. Инструкция для учета приносимых рекою твердых наносов и растворенных веществ. Отчет гидрометрической части за 1910 год, т. I, СПб., 1911.
- Глушков В. Организация и работы гидрометрической части в Туркестанском крае в 1910 году. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год второй. СПб., 1911.
- Глушков В. Работы гидрометрической части в Туркестанском крае. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год четвертый. СПб., 1913.
- Гмелин С. Г. Путешествие по России для исследования трех царств естества, ч. 1—3. СПб., 1771—1785.
- Гнусин Д. Д. О результатах измерения расходов р. Волги у г. Самары. СПб., 1901.
- Гнусин Д. О. О способах определения скоростей и расходов воды в реках. «Журнал Министерства путей сообщения», 1880, т. I, кн. 2; т. II; кн. 1; т. III, кн. 1, 2.
- Гончаров В. Н. Движение наносов в равномерном потоке. Л.—М., 1938.
- Гончаров В. Н. Основы динамики русловых потоков. М.—Л., 1954.
- Гордеев Д. И. Основные этапы истории отечественной гидрогеологии. М., 1954.
- Греков В. Д. Киевская Русь. М., 1953.
- Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, ч. 1. М., 1954.
- Гукер Е. Взвешивание твердых тел текущей водою. 1896. Перев. с англ. В сб.: «Вопросы речного быта». СПб., 1907.
- Давыдов Л. К. Гидрография СССР, ч. 1. Л., 1953.
- Данилевский В. В. История гидросиловых установок России до XIX века. М.—Л., 1940.
- Дейч В. Гидротехнические работы 1893 года. «Труды Экспедиции, снаряженной Лесным департаментом под руководством профессора Докучаева. Отчет Министерству земледелия и государственных имуществ. Отдел практических работ», т. II. Гидротехнические сооружения, вып. 1. СПб., 1894.
- Дейч В. Гидротехнические работы 1894—96 гг. То же, вып. 2. СПб., 1898.
- Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. СПб., 1892.
- Докучаев В. В. Об обмелении рек в Европейской России. «Заседания С.-Петербургского собрания сельских хозяев», 1876, № 7.

- Докучаев В. В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб., 1878.
- Долгов Н. Е. О нормах Кестлина и несоответствии этих норм результатам наблюдений над ливнями на Екатерининской железной дороге, вып. I—1908; вып. II—1914; вып. III—1915. Екатеринбург.
- Долгов Н. Е. Основные положения теории стока ливневых вод и зависимость величины отверстий искусственных сооружений на железных дорогах юга Европейской России от максимальной напряженности стока, определенной непрерывными наблюдениями Пологовской дождемерной сети на Екатерининской железной дороге. «Гидрологический вестник», 1916, № 1.
- Древняя Российская гидрография, содержащая описание Московского государства рек, протоков, озер, кладязей, и какие по ним города и урочища, и на каком они расстоянии. СПб., 1773.
- Дрозд Н. И. и Швец Г. И. Уровни р. Днепра у Лопцано-Каменки. «Известия Института гидрологии и гидротехники АН УССР», 1955, т. 13.
- Дубах А. Д. Очерки по гидрологии болот. Л., 1936.
- Дубелир Г. Д. О нормах стока ливневых вод. «Труды НТК НКПС», вып. 26, М., 1926.
- Дубелир Г. Д. Определение отверстий малых мостов. Пг., 1916.
- Дюбуа М. П. Изучение состояния Роны и влияние течения на песчаное дно, размывающееся на неопределенную глубину. Перев. с франц. «Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г.». СПб., 1893.
- Жилинский И. И. Очерк гидротехнических работ в районе Сибирской ж. д. по обводнению переселенческих участков в Ишимской степи и осушению болот в Барабе. 1895—1904. СПб., 1907.
- Жилинский И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873—1898). СПб., 1899.
- Жилинский И. И. Очерк работ Экспедиции по орошению на юге России и на Кавказе. СПб., 1892.
- Житков С. М. Исторический обзор устройства и содержания водных путей и портов в России за столетний период 1798—1898. СПб., 1900.
- Жуковский Н. Е. О движении воды на повороте реки. 1914. «Труды ЦАГИ», 1931, вып. 95.
- Жуковский Н. Е. О спелных заносах и заилинии рек. 1919. Полн. собр. соч., т. III. М.—Л., 1936.
- Жуковский Н. Н. О методах измерения скоростей и расходов воды в больших открытых руслах. СПб., 1909.
- Завадский К. Водяные сообщения России. Сборник предположений и проектов по улучшению водяных путей империи, рассматривавшихся в Главном управлении путей сообщения и затем в Министерстве путей сообщения со времени учреждения ведомства путей сообщения по 1880 год, ч. I—1884, ч. II—1885, ч. III—1888. СПб.
- Загоскин Н. П. Русские водные пути и судовое дело в до-Петровской России. Казань. 1909.
- Зайков Б. Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР в историческое время. Л., 1954.
- Зброжек Ф. Г. Курс внутренних водяных сообщений. «Сборник Института инженеров путей сообщения», вып. XVIII, 1890; вып. XXIV, 1892. СПб.
- Зброжек Ф. Г. О наибольшем расходе стока атмосферных осадков. «Известия Собрания инженеров путей сообщения», 1902, № 5.
- Зброжек Ф. Г. Современное положение в России вопроса о выправлении рек. «Известия путей сообщения», 1888, № 1.

- Зброжек Ф. Г. Сток атмосферных осадков. «Журнал Министерства путей сообщения», 1901, кн. 8, 9.
- Зиринг А. А. Описание работ по определению расходов воды р. Енисей у г. Красноярска Обь-Енисейской партией в 1911 г. СПб., 1913.
- Иванов К. Е. Гидрология болот. Л., 1953.
- Инструкции для исследования водных путей. ч. I—III. СПб., 1914.
- Инструкции и программы Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1895.
- Исследования весеннего половодья 1908 г., вып. I, II. Пг., 1915—1923.
- Карачевский-Волк А. Определение отверстий искусственных сооружений. М., 1899.
- К вопросу о регулировании водного хозяйства в степях России. Беседа в III отделе (Русского технического общества) 20 ноября 1892 года.
- Кениг Е. Л. и Живилов И. А. О проекте непрерывного Псково-Юрьево-Нарвского водного пути (Чудско-Балтийского водного сообщения) в связи с вопросом о рациональном водном хозяйстве в Чудском бассейне. СПб., 1909.
- Кипчинский А. А. Донный лед, его роль и значение в водном деле. «Водное дело», 1907, № 2—3, 4—5.
- Клейбер В. Г. Предсказания колебаний уровня воды и глубины перекатов на р. Волге. СПб., 1896.
- Клеменец Д. Древности Минусинского музея. Томск, 1886.
- Книга Большому Чертежу. М.—Л., 1950.
- Книга о способах творящих водохождение рек свободное. М., 1708.
- Князьков С. Очерки истории Петра Великого и его времени. М., 1909.
- Колендзян К. И. О распределении скоростей по вертикали. «Записки ГГИ», 1933, т. XI.
- Конюков А. Ф. История физики в Московском университете. 1755—1859. М., 1955.
- Костычев П. А. О борьбе с засухами в черноземной полосе посредством обработки полей и накопления на них снега. СПб., 1893.
- Костычев П. Способствует ли разведение лесов уничтожению засух? «Отечественные записки», 1876, № 3.
- Костяков А. Н. Основные элементы расчета осушительных систем; материалы, программы и методы их изучения. М., 1916.
- Кочерин Д. Гидрометрические исследования в Крыму. «Гидрологический вестник», 1916, № 1.
- Краткий исторический очерк развития и деятельности ведомства путей сообщения за 100 лет его существования (1798—1898). СПб., 1898.
- Краткое описание исследования реки Оки от Каширы до Нижнего Новгорода. СПб., 1887.
- Крафт Г. В. Руководство к математической и физической географии. Изд. 2-е. СПб., 1764.
- Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки. СПб., 1755.
- Крейс К. Разыскание о Доне, Азовском море, Воронеже и Азове (с некоторыми сведениями о казаках). «Отечественные записки», 1824, ч. 19 и 20.
- Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. М., 1950.
- Крогзем И. А. О нормах стока для расчета осушительных каналов, 2-й съезд инженеров-гидротехников 8—15 января 1913 г., т. III. Доклады. СПб., 1913.
- Ламакин В. В. Исследования Южно-Сибирского водного пути в конце XVIII века. «Труды Института истории естествознания и техники АН СССР», 1955, т. 3.
- Ланге Ю. В. Инструкция для гидротехнических изысканий на общественных работах 1907 года в Новоузенском уезде Самарской губернии. СПб., 1908.

- Лебедев Д. М. География в России петровского времени. М., 1950.
- Леваковский И. Воды России по отношению к ее населению. Харьков, 1890.
- Лелявский Н. С. Об углублении наших больших рек. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек». М., 1948.
- Лелявский Н. С. О речных течениях и формировании речного русла. В сб.: «Вопросы гидротехники свободных рек». М., 1948.
- Ленц Р. Э. Наши познания о древнем течении Аму-Дарьи и впадении ее в Каспийское море. «Известия Русского Географического общества», 1870, т. VI.
- Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955.
- Лепехин И. И. Дневные записки путешествия, ч. I—IV. СПб., 1771—1805.
- Ломоносов. Сборник статей и материалов. М.—Л., 1940.
- Ломоносов М. В. Сочинения, т. V. СПб., 1902.
- Ломоносов М. В. Сочинения, т. VII, Л., 1934.
- Лохтин В. М. Ледяной нанос и зимние заторы на р. Неве. СПб., 1906.
- Лохтин В. О механизме речного русла. Казань, 1895.
- Лохтин В. М. Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение. «Инженер», 1886, № 11—12.
- Лохтин. Река Чусовая. СПб., 1878.
- Лохтин В. Современное положение вопроса о способах улучшения рек. СПб., 1886.
- Лупинovich И. С., Скоропанов С. Г., Денисов З. Н. Преобразование природы Полесской низменности. М., 1953.
- Львович М. И. Гидрология в дореволюционной России. «Метеорология и гидрология», 1948, № 2.
- Львович М. И. Элементы водного режима рек земного шара. М., 1945.
- Мавродин В. В. Начало мореходства на Руси. Л., 1949.
- Маккавеев В. М. Распределение продольных и поперечных скоростей в открытых потоках. «Труды ГГИ», 1947, вып. 2 (56).
- Максимов С. П. К вопросу о гидрозлектрических установках. СПб., 1905.
- Максимович Н. И. Днепр и его бассейн. Киев, 1901.
- Максимович Н. И. Условия образования ледяного покрова на наших реках. СПб., 1900.
- Марков К. К. Основные проблемы геоморфологии. М., 1948.
- Марш Г. Человек и природа или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы. СПб., 1866.
- Междуведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водных сообщений в России. Сведения о занятиях Комиссии в период времени с сентября 1909 года по август 1910 года. СПб., 1910.
- Меллер М. Исследование движения воды в реке и связанной с ним выработкой речного профиля. Перев. с нем. Труды второго съезда инженеров-гидротехников в 1893 г. СПб., 1893.
- Миддендорф А. Путешествие на север и восток Сибири, ч. 1. СПб., 1862.
- Моисеенко С. И. Проект водного пути между Камою и Иртышом, отдел II. Исследования, ч. II. Гидрометрические работы. СПб., 1914.
- Молчанов И. В. Онежское озеро. Л., 1946.
- Морозов Г. Влажность почвы под насаждениями Хреновского бора. «Сельское хозяйство и лесоводство», 1900, т. 196, № 3.
- Моссаковский Н. Днепр и его пороги. «Инженер», 1886, т. I, кн. 3.
- Мультановский Б. М. Геофизические условия северо-западной

- части пути «из варяг в греки». «Записки Государственного гидрологического института», т. X. Л., 1933.
- Неелов Д. Д. Устройство плотин. СПб., 1884.
- Нестерук Ф. Я. Водное строительство Москвы. М., 1950.
- Нестерук Ф. Я. Водное хозяйство Китая. В сб.: «Из истории науки в технике Китая». М., 1955.
- Никитин С. Н. Бассейн Волги. Исследования гидрогеологического отдела 1894—1898 гг. СПб., 1899.
- Никитин С. Н. Об исследовании водоносности России и разработке научных, технических и юридических вопросов, касающихся сохранения, упорядочения и умножения водных запасов страны. «Водное дело», 1909, № 2.
- Никитин С. Общая геологическая карта России. Лист 56. СПб., 1884.
- Никитин С. и Кравцов И. Экспедиция по орошению на юге России. Геологические и гидрогеологические исследования. СПб., 1893.
- Обзор деятельности Министерства земледелия и государственных имуществ за 8-й год его существования. СПб., 1902.
- Обручев В. А. Наши сведения об образовании и свойствах ангарского и байкальского льда. «Известия Вост.-Сибирского отдела Русского географического общества», 1892, т. 22.
- Огиевский А. В. Гидрология суши. М., 1952.
- О влиянии истребления лесов на обмеление рек. «Журнал Министерства государственных имуществ», 1844, ч. XII, № 10.
- О влиянии истребления лесов на обмеление рек и мерах к предохранению от оногo. «Журнал Министерства внутренних дел», 1836, ч. XXI.
- Об обводнении южной степной полосы России (обсуждение в Русском техническом обществе 20 октября 1890 г.).
- Об охране водных богатств. Главные результаты четырехлетних трудов Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1898.
- Ольдекоп Э. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911.
- Оппоков Е. Вопрос об обмелении рек в его современном и прошлом состоянии. «Сельское хозяйство и лесоводство», 1900, т. 197, № 6.
- Оппоков Е. К вопросу о влиянии лесов и болот на питание рек в связи с новейшими данными по исследованию речного стока. «Землеведение», 1905, кн. III—IV.
- Оппоков Е. В. Многолетние колебания стока на больших речных бассейнах в связи с колебаниями метеорологических элементов. «Журнал Министерства путей сообщения», 1906, кн. VII—VIII.
- Оппоков Е. О величине коэффициента стока на больших речных бассейнах в связи с нормами для расчета осушительных каналов. «Журнал Министерства путей сообщения», 1909, № 5.
- Оппоков Е. В. О водоносности рек в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока. «Записки Русского географического общества по общей географии», 1911, т. XLVII.
- Оппоков Е. В. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Киева) и его составных частях в период 1876—1901 г. (часть II — в период 1876—1908), а частью и в более отдаленное время, в связи с колебаниями атмосферных осадков и температуры в бассейне и с местными условиями стока, ч. I — 1904; ч. II — 1914, СПб.
- Оппоков Е. В. Рефераты в журнале «Почвоведение» статей В. Уле (1904, т. 6, № 1), Г. Келлера (1907, т. 9, № 3) и Р. Фриче (1907, т. 9, № 2).
- Опись делам Приказа тайных дел 1713 г. «Записки Отделения русской и славянской археологии Русского археологического общества», 1861, т. II.

- Отдел земельных улучшений в 1909—1913 гг. Пг., 1914.
- Отзывы о научных работах профессора Киевского политехнического и Киевского сельскохозяйственного институтов Е. В. Опшкова в области гидрологии и мелиорации и дополнительный список печатных трудов за 1927 и 1928 г. Киев, 1929.
- От о ц к и й П. В. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, ч. 2. СПб., 1905.
- От о ц к и й П. Своеобразная гидрогеология г-на Никитина. «Ежегодник по геологии и минералогии России», т. III, вып. 4—6, 1898.
- Отчет по исследованиям рек и изысканиям соединительных водных путей, произведенным партиями Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог и округами путей сообщения в 1913 г. СПб., 1914.
- П а в л о в А. П. О рельефе долин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод. Избр. соч., т. III. М., 1951.
- П а л л а с П. С. Путешествие по разным провинциям Российской империи в 1768—1773 гг., ч. I—1773; ч. II, кн. 1—2—1786; ч. III, кн. 1—2—1788. СПб.
- П е к а р с к и й П. Наука и литература в России при Петре Великом, т. I, СПб., 1862.
- Перечень внутренних водных путей Европейской России. СПб., 1907.
- Перечень внутренних водных путей Азиатской России. СПб., 1895.
- П е р р и Д. Состояние России при нынешнем царе. 1716. Перев. с англ. М., 1861.
- П и с а р е в Н. А. Работы гидрометрической части в Туркестанском крае. «Ежегодник Отдела земельных улучшений», год седьмой, ч. II. Пг., 1917.
- П о в е с т ь временных лет. М.—Л., 1950.
- П о т а п о в М. В. К вопросу о движении жидкости на повороте русла. 1936. Сочинения в трех томах. М., 1951.
- Приложения к очерку работ Западной экспедиции по осушению болот. СПб., 1899.
- Программа для собрания сведений об усыхании озер. «Известия Русского географического общества», 1887, т. XXIII, приложение.
- П р о с к у р я к о в А. К. В. М. Лохтин и Н. С. Лелявский — основатели учения о формировании русла. Л., 1951.
- П у ш е ч н и к о в А. О расчете отверстий сооружений, назначенных для пропуска вод под полотном дороги при пересечении ею долин небольших бассейнов. Журнал МПС «Инженер», 1883, т. III, кн. 14.
- Р а й ц о в Т. Наука в России в XI—XVII веках. М., 1940.
- Р е й н о л ь д с О. Динамическая теория движения несжимаемой жидкости и определение критерия. 1895. Перев. с англ. В сб.: «Вопросы турбулентности». М.—Л., 1936.
- Р е к л ю Э. Земля. 1. Суша. Перев. с франц. СПб., 1872.
- Р е к л ю Э. Земля, вып. 5. Реки. Перев. с франц. СПб., 1895.
- Р е к л ю Э. Земля, вып. 5. Реки. Перев. с франц. М., 1914.
- Р о д е в и ч В. М. Обзор произведенных до 1923 г. исследований рек России. «Известия РГИ», 1923, № 5.
- Р у д с к и й М. П. Опыт исследования главнейших явлений, наблюдаемых в реке. 1893. В сб.: «Вопросы речного быта». СПб., 1907.
- Р у н д о А. М. О химическом методе измерения расхода воды. СПб., 1912.
- Р ы к а ч е в М. А. Вскрытия и замерзания вод в Российской империи. СПб., 1886.
- Р ы к а ч е в М. А. Колебания уровня воды в верхней части Волги в связи с осадками. «Записки Академии наук», 1895, т. II, № 1.
- Р ы ч о в Н. П. Журнал или дневные записки путешественника по разным провинциям Российского государства 1769 и 1770 году. СПб., 1770. 1772.

- Рычков П. И. Топография Оренбургская. то-есть: обстоятельное описание Оренбургской губернии, ч. 1 и 2. СПб., 1762.
- Сведения о стояниях уровня воды на реках и озерах Европейской России по наблюдениям на 80 водомерных постах. СПб., 1881.
- Сведения об уровне воды на внутренних водных путях Российской империи по наблюдениям на водомерных постах, учрежденных Министерством путей сообщения, за время с 1881 по 1890 г. включительно, т. I. Бассейн Балтийского и Белого морей. СПб., 1901.
- Свод предварительных заключений о практических способах и средствах, которые могут быть рекомендованы для сохранения правильного питания и водности в изученных типах источников рек. СПб., 1899.
- Семенов П. П. Географическо-статистический словарь Российской империи. СПб., 1863—1886.
- Семенов П. П. История полувековой деятельности императорского Русского географического общества. СПб., 1896.
- Семивский Н. Новейшие повествования о Восточной Сибири. СПб., 1817.
- Сибирцев Н. Особая экспедиция лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России. Предварительный отчет о деятельности Экспедиции с июля по ноябрь 1892 г. и общий проект опытных работ ее. СПб., 1893.
- Словиковский И. И. О явлениях, сопровождающих замерзание рек. «Труды русских водопроводных съездов». Съезд второй. СПб., 1897.
- Словцов П. А. Письма из Сибири. «Московский телеграф», Изд. Н. Полевого, 1827, ч. XV, отд. 1.
- Советов С. А. Общая гидрология. Л.—М., 1935.
- Соколов Н. Н. Водоносность Волги у г. Ярославля по данным Ярославской гидрометрической станции. «Водные пути и шоссейные дороги», 1913, № 3.
- Соколов Н. Н. Наблюдения над прохождением весенних вод в 1912 г. на нижнем Дону. «Сборник Казанского округа путей сообщения» № XXXI, 1915.
- Соколовский Д. А. Д. И. Кочерин и его роль в развитии советской гидрологии. «Метеорология и гидрология», 1949, № 1.
- Соколовский Д. А. Обзор исследований по вопросам речного стока и методики его расчетов. «Труды НИУ ГУГМС», серия IV, 1946, вып. 39.
- Соколовский Д. А. Речной сток. Л., 1952.
- Спарро Р. П. Пособие для сельского водоснабжения. М., 1911.
- Спасский Г. И. Сведения русских о реке Амуре в XVII столетии. «Вестник Русского географического общества», 1853, ч. VII.
- Спафарий Н. Книга, а в ней писано путешествие царства Сибирского от города Тобольска и до самого рубежа государства Китайского... «Записки Русского географического общества по отделению этнографии», 1882, т. X, вып. 1.
- Стабровский. Описание вновь сооруженного Онежского обводного канала. «Журнал Главного управления путей сообщения и публичных зданий», 1854, кн. 5.
- Стефанович Я. В. К вопросу о донном льде. «Известия Вост.-Сибирского отдела Русского географического общества», 1898, т. 29.
- Стойкович А. Систематическое изложение способов обезводнения мокрой, болотистой почвы и осушения топей. СПб., 1827.
- Судоходный дорожник европейской России, ч. I — 1854; ч. II, отд. 1—1855. СПб.

- Сунь Ци-чжи. Краткий обзор развития географической науки в Китае. «Известия АН СССР», серия географическая, 1955, № 5.
- Сухомел Г. И. и Швед Г. И. Развитие на Украине исследований по гидрологии, гидравлике и гидротехнике. «Известия Ин-та гидрологии и гидротехники АН УССР», 1955, т. 13 (XX).
- Гарловский Г. Нормы стока для расчета прудовых водосливов. 2-й съезд инженер-гидротехников 8—15 января 1913 г., т. III. Доклады. СПб., 1913.
- Татищев В. Н. История Российская с самых древнейших времен, кн. 1. М., 1769.
- Татищев В. Н. Лексикон Российской исторической, географической, политической и гражданской, ч. I—III. СПб., 1793.
- Термиш. Рассуждение о вопросе, изменилось ли количество воды, протекающей ежегодно через Волгу, от вырубки лесов, растущих по берегам этой реки и ее притокам. «Журнал Главного Управления путей сообщения и публичных зданий», 1862, кн. 1.
- Тилло А. А. Абсолютная высота озер Ладожского, Онежского и Ильменя. «Журнал Министерства путей сообщения», 1886, кн. 1.
- Тилло А. А. О длине рек Европейской России. «Известия Русского географического общества», 1883, т. XIX.
- Тимонов В. Е. Об организации систематического изучения ледяного покрова на наших реках и способов борьбы с вызываемыми льдом затруднениями в навигационной и береговой жизни. СПб., 1913.
- Тимонов В. Е. Очерк главнейших рек Приамурского края. СПб., 1897. «Труды Первого съезда гидротехников отдела земельных улучшений». СПб., 1909.
- «Труды Второго Всероссийского съезда деятелей по прикладной геологии и разведочному бурению 1911—1912 гг.», вып. III. Пг., 1916.
- «Труды Совета меллоративных съездов в России. Группа научных вопросов. Труды Комиссии по разработке вопроса о центральном гидрологическом учреждении в России». Пг., 1915.
- «Труды съезда инженеров-гидротехников в 1892 г.». СПб., 1892.
- Уханов В. В. Очерк развития стационарных гидрологических наблюдений в СССР. «Труды ГГИ», 1948, вып. 4.
- Фабр. Опыт теории быстротоков и рек. Перев. с франц. СПб., 1805.
- Фальк И. П. Записки путешествия в двух частях. Полное собрание ученых путешествий по России, т. VI—1824; т. VII—1825. СПб.
- Фальковский Н. И. История водоснабжения в России. М., 1947.
- Филиппов Н. М. Об изменении уровня Каспийского моря. СПб., 1890.
- Фок А. А. и Рябов А. А. Подробный отчет о практических результатах Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1908.
- Форель Ф. А. Инструкция для исследования озер. «Известия Русского географического общества», 1887, т. XXIII, приложение.
- Форхгеймер Ф. Гидравлика. Перев. с нем. М., 1935.
- Херст Г. Нил. Общее описание реки и использование ее воды. Перев. с англ. М., 1954.
- Ходаковский. Пути сообщения в древней России. Русский исторический сборник, т. I, кн. 1. М., 1837.
- Ходнев А. И. История императорского Вольного экономического общества с 1765 по 1865 годы. СПб., 1865.
- Цинглинский М. О наблюдениях над замерзанием реки Невы и исследованиях заторов на ней. СПб., 1905.
- Чернышев М. С. Иртыш. СПб., 1887.
- Шафалович А. В. Описание гидрометрических работ при исследованиях р. Зеи в 1907—1909 гг. и рр. Туры и Тобола в 1910 г. СПб., 1912.
- Шварц. Образование льда на дне Сибирских рек вообще и Ангары в

- особенности. «Вестник Русского географического общества», 1858, ч. XXI.
- Швец Г. И. О половодьях на р. Днепре за тысячелетний период. «Известия Ин-та гидрологии и гидротехники АН УССР», 1955, т. 13 (XX).
- Шибанов Ф. А. «Большой чертеж», или первая оригинальная карта Московского государства. «Вестник Ленинградского университета», 1947, № 5.
- Шлейден М. И. Дерево и лес. Перев. с нем. СПб., 1873.
- Шмальц Ф. Взгляд на полуостров Крым в земледельческом и промышленном отношении. «Труды Вольного экономического общества», 1842, треть первая.
- Шнитников А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Зап. Сибири и Сев. Казахстана и их зависимость от климата. «Труды лаборатории озероведения АН СССР», т. I, 1950.
- Шнитников А. В. Общие черты циклических колебаний уровня озер и увлажненности территории Евразии в связи с солнечной активностью. «Бюллетень Комиссии по исследованию Солнца», 1949, № 3—4 (17—18).
- Штукенберг И. Х. Дон и его притоки. Воронеж, 1891.
- Шукин. Образование льда на дне реки Ангары и других рек Восточной Сибири. «Отечественные записки», 1846, т. 49, № 11.
- Шукин И. С. Общая морфология суши, т. I. М., 1934.
- Эйхвальд Э. И. Гсогнозия преимущественно в отношении к России. СПб., 1846.
- Энгельман Г. Теоретическое и практическое руководство по осушению угодьев, или показание причин, рождающих в почве чрезмерную мокроту и производящих зыби, болота и топи; равно средств, через которые умножение оной можно пересекать и усиливающуюся уже там воду отводить и делать такие угодья удобными к обработке. СПб., 1810.
- Эссен А. М. Статистические методы обработки гидрометрических данных. Тифлис, 1913.
- Юргенсон Р. О. О судоходном состоянии р. Амура с притоками. СПб., 1897.
- Ядринцев Н. Уменьшение вод в Арало-Каспийской низменности в пределах Западной Сибири. «Известия Русского географического общества», 1886, т. XXII, вып. 1.
- Ямнов А. А. и Кунин В. Н. Некоторые теоретические итоги новейших исследований в районе Узбоя в области палеогеографии и геоморфологии. «Известия АН СССР», серия географическая, 1953, № 3.
- Ячевский Л. А. К вопросу об образовании речного льда и его влияния на скульптуру берегов реки. СПб., 1904.
- Barnes H. T. Ice formation with special reference to anchor — ice and frasil. New York, 1906.
- Brückner E. Klimaschwankungen seit 1700. «Geographische Abhandlungen», Wien, 1890, Bd. 4, № 2.
- Fargue L. La forme du let des rivieres a fond mobile. Paris, 1908.
- Iszkowski. Die Formeln zur Ermittlung der Normal und Hochwassermengen von Bächen und Flüssen mit normalen Abflussverhältnissen. «Zeitschr. das öster. Ing. und Arch. Ver.», 1886.
- Keller H. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa. «Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands», 1906. Bd 1, № 4.
- Lüscher H. Das Grundeis und darerige Störungen in Wasserläuten und Wasserwerken. Aarau, 1906.

- Newell F. H. Results of steams measurements. «XIV Ann. Report of the Un. St. Geological Servey», 1892—93, p. 2.
- Penck A. Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grosseren Landflächen. «Geographische Abhandlungen», Wien, 1896, Bd. 5, № 5.
- Schreiber P. Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse im Mitteleuropa. «Meteor. Zeitschrift», 1904.
- Stuckenberg J. Ch. Hydrographie des Russischen Reiches. St.—P., 1844—1849.
- Ule W. Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. «Forsch. zur deutsch. Landes- und Volkskunde», 1903, Bd. XVI, H 5.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава I. Накопление сведений по гидрографии на Руси до конца XVII в.	16
Глава II. Гидрографические исследования в первой четверти XVIII в.	40
Глава III. Гидрографическое изучение страны до конца XVIII в. Выработка представлений о круговороте воды в природе	48
Глава IV. Гидрографические исследования и развитие гидрологических знаний в XIX в. (до 1875 г.)	71
Глава V. Водные исследования в последней четверти XIX в. Начало формирования гидрологии как самостоятельной науки	95
1. Исследования ведомства путей сообщения	95
2. Исследования ведомства государственных имуществ и земледелия	109
3. Основополагающее значение трудов А. И. Воейкова в развитии гидрологии суши	133
4. Развитие учения о русловых процессах	140
5. Краткие выводы	179
Глава VI. Водные исследования и развитие гидрологии в начале XX в. (до 1917 г.)	184
1. Исследования до 1910 г.	184
2. Изучение ледовых явлений	195
3. Развитие учения о речном стоке	204
4. Водные исследования и развитие гидрологии в 1910—1917 гг.	260
5. Краткие выводы	283
Заключение	287
Литература	289

Иван Андреевич Федосеев
Развитие гидрологии суши в России

Утверждено к печати
Институтом истории естествознания и техники
Академии наук СССР

Редактор издательства *Н. Б. Прокофьева*
Технические редакторы *С. П. Голубь и Ю. В. Рылина.*

ВЦСО АН СССР 40-127В. Сдано в набор 9/XII 1959 г.
Подписано к печати 27/II 1960 г. Формат 60×92¹/₁₆.
Печ. л. 19+2 вкл. Уч.-изд. л. 19,4+0,2 вкл.
Тираж 1300 экз. Т-03312. Изд. № 4334. Тип. зан. № 2513.

Цена 15 руб. 80 коп.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография Издательства АН СССР
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10