



~~69~~
~~669~~

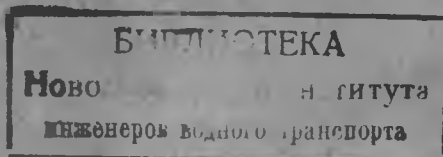
Е. А. ВОДАРСКИЙ

ВЫПРАВЛЕНИЕ (РЕГУЛИРОВАНИЕ) Р Е К

Учебник для техникумов

Утвержден Народным комиссариатом водного транспорта

18646



19 36



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА

V
8

Книга является учебником для учащихся техникумов водного транспорта гидротехнической специальности. Она охватывает все вопросы программы курса регулирования рек и в то же время знакомит читателя с целым рядом новейших взглядов на различные явления быта реки.



СР 156

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение.....	5
---------------	---

ГЛАВА I

Общие сведения о реках

§ 1. Круговорот воды в природе	7
§ 2. Образование рек. Речные долины. Речные системы. Бассейны рек. . .	8
§ 3. Питание рек	11
§ 4. Речное русло	16
§ 5. Уровни воды в реках. Паводки	21
§ 6. Живое сечение русла реки. Скорости течения	26
§ 7. Расход воды	31
§ 8. Зимний режим рек	35

ГЛАВА II

Речное русло и его деформации

§ 9. Плановые формы речного русла	43
§ 10. Деформации русла при зимнем режиме	48
§ 11. Зависимость между плановыми формами русла и рельефом его дна. .	53
§ 12. Устойчивые и неустойчивые русла	60
§ 13. Наносы	62

ГЛАВА III

Зависимость между гидродинамическими свойствами речного потока и деформациями его русла

§ 14. Взвешивание наносов потоком. Донные наносы. Закон Эри. Донные течения	70
§ 15. Внутренние течения в реках	77
§ 16. Влияние внутренних течений на рельеф русла	83
§ 17. Формирование перекатов	88
§ 18. Влияние на состояние переката скоростей течения и колебания уровня воды	95
§ 19. Горные реки	99
§ 20. Пороги	102
§ 21. Устья рек	104

ГЛАВА IV

Выправление (регулирование) судоходных рек

§ 22. Цели выправления	107
§ 23. Основные положения выправления	108
§ 24. Расчетный уровень реки. Выправительная трасса и ее расположение в плане. Законы Фарга	119
§ 25. Ширина трассы и радиус кривизны. Глубина выправленного русла. Профили живых сечений	126

ГЛАВА V

Методы выправления и расположения выправительных сооружений

§ 26. Водостеснительный метод выправления	135
§ 27. Современный метод выправления „содействием потоку“ в выработке требуемых судоходству форм русла	137
§ 28. Расположение выправительных сооружений	147
§ 29. Описание выполненного выправления перекатов и отдельных участ- ков рек	155
1. Французские реки	155
2. Германские реки	163
3. Выправление на реках СССР	172

ГЛАВА VI

Частные случаи регулирования судоходных рек

§ 30. Разделение русла на рукава	181
§ 31. Выправление подходов к населенным пунктам и затонам	184
§ 32. Выправление подмостовых участков рек	197
§ 33. Выправление устьев притоков	200
§ 34. Выправление извилин с помощью прокопов	202
§ 35. Выправление порогов	206
§ 36. Значение землечерпания при выправлении рек	208
§ 37. Выправление русла высоких вод. Обвалование от затоплений	212

ГЛАВА VII

Типы береговых укреплений и выправительных сооружений

§ 38. Общие сведения о сооружениях и их назначение	223
§ 39. Строительные материалы	227
§ 40. Вязка хворостяных тюфяков	229
§ 41. Тюфячная кладка	233
§ 42. Фашинные сооружения	234
§ 43. Береговые укрепления. Габионы Пальвиса	236
§ 44. Русловые сооружения	245
§ 45. Сипаи	251
§ 46. Сооружения легкого типа	253
§ 47. Фильтрующие сооружения	255

ГЛАВА VIII

Комплексное применение выправления

§ 48. Соединение дополнительного питания рек в межень с выправлением	260
--	-----

ГЛАВА IX

Краткие сведения о стоимости выправительных сооружений

§ 49. Стоимость выправительных сооружений	263
---	-----

ВВЕДЕНИЕ

Судоходные реки, находясь в естественном состоянии, в огромном большинстве случаев не отвечают как пути транспорта требованиям, предъявляемым к ним судоходством.

По самой природе своей реки, протекающие в долинах, сложенных из размываемых грунтов, имея в течение навигации меняющийся, обычно в весьма широких пределах, расход воды, отличаются и изменчивым рельефом русла. В связи с этим изменяется и плановое расположение судового хода и особенно его глубина, которая падает в маловодные периоды навигации нередко настолько, что для судоходства создаются большие препятствия.

Происходящие ежегодно перемещения прибрежных и русловых мелей и отложения наносов в русле сопровождаются часто обмелением подходов к пристанским пунктам, закрытием входов в затоны и создают ряд других более или менее значительных препятствий для судоходства и прибрежных промышленных и населенных пунктов.

Во всех этих случаях приходится принимать ряд технических мер как в интересах судоходства и сплава для восстановления и поддержания отвечающего их требованиям состояния судового хода, подходов к пристаням, обеспечения безопасного прохода под мостами и т. п., так и для обеспечения целостности территорий и интересов населенных пунктов (например, для обеспечения бесперебойного питания водой водоприемных устройств города или промпредприятия и т. п.).

Меры эти бывают постоянного и временного характера. Выбор и применение их диктуются технической и экономической целесообразностью. Применение и тех и других мер необходимо всегда соотносить с бытом реки, который должен быть достаточно хорошо изучен, и с причинами появления тех неблагоприятных для судоходства явлений, для устранения которых эти меры предпринимаются.

К мерам постоянного характера относятся так называемые управительные или регуляционные работы или, короче, выправление (регулирование) рек.

Выправление, производимое в интересах судоходства и сплава, имеет целью, сохраняя течение реки свободным во всех фазах ее жизни, поставить его при помощи системы береговых и русловых сооружений и дноуглубительных работ в такие условия, в которых оно находится на естественных участках реки, не

представляющих для судоходства препятствий ни по глубине, ни по расположению судового хода в плане.

Отсюда следует, что к выправлению можно предъявлять требования не выше тех, которым отвечают естественно благоприятные для судоходства участки реки, близкие по своим гидрологическим свойствам к выправляемым участкам.

Неоднократные попытки обосновать теоретически методы выправления, которое применяется уже около ста лет, на гидравлических расчетах к благоприятным результатам не привели, так как функциональные зависимости между элементами свободного потока, определяющими его свойства и условия движения, до сих пор еще не выяснены. В силу этого разрешение задач выправления следует пока основывать на изучении как результатов уже выполненных выправительных работ, так и тех условий, в которых находятся сходные с выправляемыми естественно благоприятные для судоходства участки реки.

Выводы из этого изучения, реализуемые в виде проектов выправления, следует сопоставлять с гидрологическими и гидравлическими лабораторными исследованиями действия на поток намечаемых сооружений. Подобное сопоставление результатов опыта, лабораторных исследований и теоретического анализа, от которого отказываться не следует, даст возможность уже сознательно, а не только копируя результаты опыта, и достаточно близко подойти к более правильному разрешению задач выправления в сложном быте реки.

К результатам имеющихся и производящихся лабораторных исследований быта реки следует относиться, понятно, с известной осторожностью и считаться с ними, лишь сверяя их с наблюдением в натуре и сопоставляя с теоретическим анализом, так как только таким путем, в конечном счете, представится возможность большой опыт выправления обосновать и теоретически.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕКАХ

§ 1. Круговорот воды в природе

В жизни людей и всей природы огромное значение имеет вода во всех своих состояниях, в твердом, в виде снега и льда, жидком и газообразном. Около 72% поверхности земного шара занято океанами, морями и озерами и только 28% земной поверхности, т. е. в $2\frac{1}{2}$ раза меньше, занимает суша. Под влиянием нагревания лучами солнца (солнечной радиации) все водоемы, а также и сама суша с покрывающей ее растительностью ежегодно испаряют в атмосферу сотни тысяч кубических километров влаги.

Водяные пары переносятся воздушными течениями в окружающую землю атмосферу и увлажняют ее, в зависимости от температуры воздуха, в различной степени.

При падении температуры воздуха, насыщенного водяными парами, излишек паров (определенной температуре воздуха соответствует определенная степень насыщения его парами воды) конденсируется и в конечном результате обращается в осадки, выпадающие на землю в виде дождя, снега, града или осаждающиеся в виде росы, инея и изморози.

Выпадающие на сушу атмосферные осадки как в жидком виде, так и обращающиеся на поверхности земли в воду, образуют поверхностные или наземные воды. Поверхностные воды частью испаряются снова, частью просачиваются в грунт и образуют в толще земной коры подземные (грунтовые) воды, которые соединяются с грунтовыми же водами, образующимися из подземных водяных паров¹, и наконец частью непосредственно стекают по земной поверхности опять в моря и океаны.

¹ Образование грунтовых или подземных вод объясняется различно.

В 1717 г. была опубликована французским физиком Мариоттом так называемая инфильтрационная теория образования грунтовых вод или теория просачивания, по которой грунтовые воды образуются в результате просачивания части атмосферных осадков в толщу земной коры до водонепроницаемых ее слоев. Проф. Кейльгак считает, что просачивается около 25% всего количества атмосферных осадков.

В 1877 г. немецкий ученый Фольгер предложил свою теорию, получившую название конденсационной, по которой образование грунтовых вод объяснялось сгущением в земной коре, на некоторой глубине от поверхности, водяных паров атмосферного воздуха. В результате такого сгущения водяные пары обращаются в воду.

Грунтовые воды частью испаряются в атмосферу или непосредственно через сушу или через ее растительный покров, а частью, двигаясь по наклонным водонепроницаемым слоям, выклиниваются вместе с ними на поверхность земли в виде разного рода водяных потоков. Последние несут свои воды снова в моря и океаны, частью испаряя их по пути своего перемещения, а частью теряя на просачивание в грунт.

В умеренном и холодном климате земного шара часть осадков в виде снега временно, в холодные периоды, задерживается на поверхности земли, чтобы с наступлением тепла растаять и затем частью стечь в водоемы, частью просочиться в грунт, а частью испариться и затем снова перейти в осадки и опять принять участие в описанном круговороте воды.

§ 2. Образование рек. Речные долины. Речные системы. Бассейны рек

Поверхностные воды, соединяясь с грунтовыми, текут сначала, следуя естественному уклону земной поверхности, в виде маленьких ручейков, которые соединяются потом в более или менее значительные речки. Последние, в свою очередь, постепенно соединяясь вместе, образуют большей или меньшей величины реки. Следуя также естественному уклону земной поверхности, реки стекают с более высоких территорий в низменности и впадают в океаны, моря и озера.

В сухих областях реки иногда и не доходят до морей или озер и постепенно исчезают в песках или зарослях камыша. Таких безустоевых рек сравнительно немного. Есть они и в нашем Союзе, например, рр. Мургаб, Большой и Малый Узени.

Стекающие по поверхности земли воды обладают потенциальной и кинетической энергией¹ и производят при своем движении огромную геологическую работу, которая выражается

Как инфильтрационная теория, так и теория Фольгера не объясняли всех явлений, наблюдаемых в быте грунтовых вод.

Наш ученый проф. А. Ф. Лебедев, изучая движение вод в почвах и грунтах, пришел (1919 г.) к выводу, что „почва и грунт обогащаются водой помимо воды осадков (дождь, снег, туман, град и т. д.) как за счет водяных паров атмосферы, так и путем конденсации водяных паров, передвигающихся из земных глубин к поверхности почвы“. Участие в образовании грунтовых вод конденсирующегося в воду водяного пара, образующегося в недрах земли, было выдвинуто геологом Зюссом, который назвал эти воды ювенильными (юношескими).

Таким образом по Лебедеву грунтовые воды образуются как путем инфильтрации (просачивания) осадков, так и конденсацией проникающих в землю водяных паров воздуха, а также и из ювенильных вод. Все эти процессы часто „происходят одновременно“, говорит проф. Лебедев, „накладываясь один на другой. Однако в природе, несомненно, наблюдаются и такие условия, когда грунтовые воды образуются исключительно конденсационным путем“...

Теория Лебедева объясняет гораздо удовлетворительней образование грунтовых вод, чем теории Мариотта и Фольгера.

¹ Первая выражается произведением веса на высоту центра тяжести над уровнем моря, а вторая — произведением массы на половину квадрата скорости стекания.

в смыве и размыве слагающих поверхность земли пород, встречающихся на пути движения вод. Смывая, отрывая и перенося частицы грунта, потоки углубляют свой путь (глубинная эрозия) и расширяют его (боковая эрозия¹), откладывая (аккумулируя) вместе с тем на своем пути часть влекомых и переносимых твердых тел. Большей частью собиравшиеся ручьи в речки, а речек в реки происходило в пониженных частях складок, образовавшихся на земной поверхности в результате тектонических процессов, обусловивших складочный и сбросовый рельеф поверхности суши. Эти складки и сами служили удобным местом для аккумуляции атмосферных осадков.

Иногда ручьи и речки, постепенно соединяясь в реки, текли, следуя естественному уклону земной поверхности, по направлению расположения наименее сопротивляющихся размыву грунтов и сами прорабатывали свое ложе.

В обоих случаях получалась первичная форма ложа потоков, получившая впоследствии название долины.

Поток из года в год постепенно разрабатывал свою долину (процесс денудации), прорывал на своем пути каменные преграды, видоизменял форму долины и, приводя ее к современному виду совместным действием эрозии и аккумуляции, придавал ее дну более или менее равномерный уклон по направлению к морю (океану) или озеру.



Рис. 1. Поперечный профиль долины.

Долины современных рек можно разделить на старые и молодые. Первые значительно разработаны реками, дно их имеет сравнительно равномерный уклон к морю (океану) или озеру, куда впадает поток, а в плане они располагаются по плавным изгибам, обыкновенно периодически расширяющимся. В поперечном профиле долины многих равнинных рек имеют склоны, состоящие из нескольких террас (рис. 1), что свидетельствует о постепенном, в периоде формирования, углублении потока в грунт долины и уменьшении вследствие этого его ширины.

Молодые долины разработаны потоками значительно меньше старых, нередко имеют ступенчатое дно и в плане располагаются по крутым и коротким изгибам, а иногда и по ломаным линиям. По преимуществу это долины горных потоков.

Долины наших равнинных рек состоят в плане в большинстве случаев из расширенных и суженных участков, причем суженные участки обыкновенно занимают значительно меньшее протяжение, чем расширенные. Можно предполагать, что реки образовались из ряда озер, когда-то в давние геологические

¹ Если эрозия не является непосредственным результатом скорости движения потока, а вызывается главным образом воздействием твердых тел, влекомых потоком, т. е. силой трения, то она получает название коррозии.

периоды отделявшихся одно от другого водоразделами или возвышенностями суши.

Каждая речка и река, каждый поток имеют свою длину.

Ручьи, речки и реки, связанные между собою постепенным впадением одних в другие и в результате отдающие свои воды (сток) одной реке, впадающей в крупный водоем (океан, море, озеро), образуют связанную взаимно и с рельефом местности сеть потоков или речную систему.

Река, собирающая сток всех примыкающих к ней потоков и несущая его в крупный водоем, называется главной или основной рекой, а все остальные — ее притоками. Притоки, непосредственно впадающие в основную реку системы, называются притоками I порядка или класса, притоки последних — притоками II класса и т. д.

В соответствии с этим можно подразделить и долины, входящие в состав речной системы, реки которой располагаются в большинстве случаев по самым пониженным линиям долин или тальвегам. Есть, как известно, реки, располагающиеся по всей своей длине или только частью выше дна своих долин (например, р. Терек).

Вся та площадь, с которой стекают в реки данной речной системы атмосферные осадки, называется бассейном речной системы. Бассейн называют обычно по имени основной реки (бассейн Волги, Днепра и т. п.). Очевидно, каждый приток имеет свой бассейн, входящий в состав бассейна всей речной системы.

Повышенная непрерывная линия суши, ограничивающая долины всех потоков данной речной системы и отделяющая ее от соседних бассейнов, носит название водораздельной линии или водораздела. В плане контур водораздела, очерчивающий бассейн реки, замыкается тем водоемом (морем, озером или океаном), в который эта река впадает.

Бассейн реки является ее водосборной площадью или водосбором.

Речная система часто состоит не только из одних рек, но из рек и озер. Последние, в зависимости от их величины, являются в большей или меньшей степени регуляторами стока, оказывая соответственное влияние на течение рек (Нева и Ладожское озеро, р. Св. Лаврентия и Великие озера в США).

Есть реки, чаще всего небольшие по длине, которые на некоторых участках, а нередко и по всей длине, состоят почти из непрерывной цепи озер. Такие реки встречаются на севере европейской части нашего Союза, например, в бассейне рр. Нивы, Ковды и др. Так, р. Ковда, общей длиной в 101 км, на протяжении 79 км проходит по озерам; р. Нива, длиной 85 км, проходит 5 озер общей длиной 45 км и т. д. Озерность характеризуют коэффициентом, величина которого определяется делением общей площади озер на площадь всего бассейна.

§ 3. Питание рек

Водораздел речной системы или отдельной реки в большинстве случаев является границей водосбора не только для поверхностных вод, но и для грунтовых. Величина бассейна не характеризует ни величины реки, ни ее водности. Так например, р. Кура, имеющая длину 1302 км, почти вдвое большую, чем Сев. Двина, длина которой от слияния рр. Сухоны и Юга 750 км, обладает бассейном вдвое меньшим: бассейн Сев. Двины 363 000 км², а Куры — 155 000 км². Южный Буг длиннее Сев. Двины на 87 км, бассейн же его всего 64 370 км², т. е. почти в 6 раз меньше. Некоторые реки, вытекающие из больших озер (например, р. Нева), при небольшой длине (длина Невы 74 км) отличаются значительной водностью и имеют сравнительно крупные бассейны (бассейн Невы — 281 000 км²).

Величина бассейна только в известной степени влияет на величину стока, который во многом зависит от комплекса разнообразных факторов (интенсивности выпадающих осадков, развития речной сети, рельефа и размеров растительности, геологического строения бассейна и т. п.) и главным образом от фактора климатического, т. е. от осадков.

Выпадающие в границах бассейна осадки поступают в реку сравнительно в небольшой части: значительная доля их непосредственно для реки теряется, расходуясь на испарение в атмосферу и на просачивание в землю. На такие потери иногда расходуется до 90% осадков.

Поэтому если мы назовем S — сток, R — осадки, V — испарение, K — питание реки грунтовыми водами и A — потерю на просачивание, то сток S , т. е. объем воды, протекающий в данном сечении реки за определенный период времени (например, за полугодие, год и т. п.), можно выразить так:

$$S = R - V + K - A.$$

Допуская, что для значительного периода времени просачивающаяся в грунт вода уравнивается с поступающими в реку грунтовыми водами, т. е. принимая $K = A$, получим $S = R - V$.

Так как испарение V зависит от осадков R , то можно допустить, конечно, грубо, что $R - V = mR$, почему $S = mR$ и отсюда

$$m = \frac{S}{R}.$$

Коэффициент m называется коэффициентом стока и выражает численное отношение количества воды, протекающей через данное сечение реки в течение определенного периода времени, к общему объему атмосферных осадков, выпавших за то же время в части бассейна, относящейся к данному се-

чению, т. е. лежащей выше (считая по течению) этого сечения.

Величина коэффициента стока (его называют иногда гидрологическим коэффициентом) колеблется для каждой реки в широких пределах, возрастая с увеличением количества осадков. Обычно S и R определяются в миллиметрах слоя воды за год или в куб. метрах или же в куб. километрах за год. Для больших рек, протекающих в холмистых и равнинных областях, коэффициент стока обыкновенно лежит в пределах от $1/3$ до $1/2$, но иногда выходит за эти пределы.

Для определения абсолютного стока кроме коэффициента стока пользуются также модулем стока или расходом воды, поступающей в реку в единицу времени с единицы поверхности бассейна.

Модуль стока принято выражать в литрах в секунду с одного квадратного километра.

Обозначив расход реки в данном живом сечении Q м³/сек, площадь бассейна F км² и модуль γ , получим:

$$\gamma = \frac{Q}{F} 10^3 \text{ л/сек-км}^2.$$

Наконец можно пользоваться для определения величины стока высотой β слоя стока (в мм). Если S (м³) — полный объем воды, пришедший за определенное время через данное живое сечение реки, и F — площадь питающего это сечение бассейна, то

$$\beta = \frac{S (\text{м}^3)}{F (\text{км}^2)} 10^{-3} \text{ мм},$$

т. е. β — это высота слоя стока, прошедшего за определенный период через данное живое сечение, но равномерно распределенного по всей площади бассейна, соответствующего сечению.

Для определения коэффициентов стока предложено много формул (см. курсы Гидрологии), но все они составлены применительно к условиям определенных рек, почему и пользоваться ими следует с известной осторожностью.

Весьма интенсивное выпадение дождя в короткий период времени — то, что называется ливнем, — в основных реках, имеющих большой бассейн, отражается сравнительно плавным подъемом уровня и особого значения не имеет.

На притоках I класса, имеющих обычно крупные бассейны, ливни также не вызывают резкого подъема воды, но на притоках и реках с малыми площадями бассейнов, примерно не более 50 км², ливни дают быстрое и резкое поднятие уровней, иногда катастрофическое. В наших климатических условиях ливни особого значения для питания рек не имеют.

Обращаясь к питанию рек твердыми атмосферными осадками, к снеговому питанию, мы видим, что в странах с низкими зимними температурами, как это наблюдается и у нас в Союзе,

выпадающий снег скапливается в течение зимы, а при наступлении весеннего тепла сравнительно быстро, в течение одного-двух месяцев, тает и стекает в реки, вызывая в них образование так называемого весеннего половодья.

Чем больше выпадает зимой снега, тем больше, при прочих равных условиях, будет и весеннее половодье в реках. Точно так же, чем дружнее наступает весна и чем выше весенняя температура воздуха, тем, при прочих равных условиях, более бурно и быстро проходит половодье.

При питании реки от таяния ледников и снегов, лежащих в горах выше так называемой снеговой линии (ледниковое питание), таяние снегов протекает медленно: сначала оно идет в открытых солнцу и более низколежащих снегах, затем в более высоких и затененных снежных поясах. Непрерывное в течение весны и лета таяние таких постоянных снегов усиливает летнее питание реки и, возрастая в более жаркую часть лета, нередко вызывает образование половодья летом.

Многие реки располагаются своими верховьями в горных областях, а на остальном протяжении проходят по равнинам. Если снеговые осадки выпадают по всему бассейну, то может быть два половодья — весеннее, от таяния снегов в равнинной части бассейна, и летнее, вызываемое таянием снегов в горах. В Западной и Южной Европе, где снеговые осадки чередуются с дождями при часто повторяющихся в зимний период оттепелях, сток от стаявших снегов при совпадении с изобильными дождями может вызвать и зимнее половодье.

Питание рек стоком поверхностных вод происходит с перерывами. Бывают периоды, когда поверхностный сток прекращается. Зимой, когда река покрыта льдом и снег выпадает на промерзшую ранее поверхность бассейна, а также в летние засухи поверхностного стока не бывает. Между тем, течение в реке не прекращается, — уменьшается только количество протекающей воды. В эти периоды река питается запасами грунтовой воды, накопившейся в ее бассейне, и играет роль дренажного канала. Уровень рек в период высоких вод в реке колеблется значительно быстрее, чем уровень грунтовых вод, почему создается разность в высоте их стояния. При подъеме уровня реки выше уровня грунтовых вод речная вода проникает в грунт берегов (рис. 2) и обратно, когда уровень реки станет ниже уровня грунтовых вод, последние устремляются в реку, т. е. происходит водообмен между грунтовыми водами и рекой.

Приток грунтовых вод в реку и обратная отдача воды из реки окружающему ее грунту происходят по всему руслу или по части его в зависимости от водопроницаемости ложа берегов реки. Грунтовые воды поступают в реку, двигаясь к ее берегам и дну как сверху, так и снизу (рис. 2). Чем ниже стоит вода в реке, тем сильнее отдача грунтовых вод, и обратно — чем выше над уровнем грунтовых вод уровень реки, тем значи-

тельное отдача воды рекою. Наиболее интенсивно грунтовые воды пополняются из реки в половодье, когда заливается вся пойма, т. е. когда напор речных вод и площадь просачивания (инфильтрации) достигают наибольшей величины. У наших рек, в громадном большинстве равнинных, большая часть протекающей за год воды (годового расхода) приходится на время весеннего половодья. Так, в бассейне Днепра весенний расход составляет 67% годового расхода, а для Оки—75%, причем весенний период на Оке продолжается несколько менее двух месяцев.

В областях с менее суровыми зимами, чем у нас, и более частыми оттепелями (Западная Европа) весеннее питание рек менее интенсивно, а летом оно значительнее, чем у нас, но все же меньше, чем весеннее.

Таким образом наибольшее питание дают рекам зимние осадки, летние же, в большей своей части испаряющиеся раньше, чем стечь в реку и просочиться в грунт, дают основной запас влаги на испарение, сохраняя этим запасы грунтовых вод от истощения.



Рис. 2. Живое сечение русла.

Из двух слагаемых — поверхностного и подземного стока, из которых составляется расход рек, сток грунтовых вод, имея незначительную скорость, действует непрерывно и обеспечивает постоянное питание реки и равномерность ее расхода. Поверхностный сток действует периодически, с перерывами, вызы-

вая значительные колебания уровня реки. Что касается доли питания рек за счет того и другого стока, то у части рек преобладает поверхностное питание, а у части — грунтовое. Так например, для Днепра (по Оппокову) грунтовое питание составляет около 33% среднего многолетнего годового стока, для среднего течения Волги (по Соколову) — около 26,4%, для Оки (по Гейнцу) у г. Орла — только 14%. Наоборот, для р. Неккара, притока Рейна, грунтовое питание является главным и составляет около 66% годового стока.

Что касается значения озер в режиме питания рек, то оно, в зависимости от географического положения и климатических условий, бывает различно. Лежащие на севере озера, например, Байкальское и Ладожское, воды которых летом холоднее воздуха, собирают (конденсируют) влагу из атмосферы, увеличивая таким путем свой водный запас, а следовательно, и питание вытекающих из них рек. Наоборот, в теплых и сухих странах, особенно при больших поверхностях водоемов, сток воды из них может уменьшиться и даже совсем приостановиться, и тогда эти водоемы временно становятся бессточными (Аральское озеро, Каспийское море).

Увеличение стока в озеро распределяется по значительной

его площади и вместе с тем увеличивает и сток в вытекающие из него реки, что уменьшает амплитуду колебаний уровня как в озерах, так и в реках. Поэтому сточное озеро является регулятором питания вытекающих из него рек (Ладожское озеро и Нева, Байкал и Ангара и т. п.), и колебания горизонтов воды озерных рек всегда меньше колебания уровня рек, имеющих началом источники. Понятно, если река значительного протяжения, то регулирующее действие озера будет сказываться лишь на части ее, ближайшей к озеру, реки же небольшой длины (например, Нева) будут регулироваться на всей своей длине. Если река пересекает озеро, последнее обращается в проточное, но сохраняет свое регулирующее значение. Проточные озера нередко засоряются речными наносами и обращаются в местное уширение речной долины. Иногда озера обращаются в болота. Такие болота и озера, образовавшиеся в поймах и низинах долин (низинные болота), а также болота высокие, образующиеся на водоразделах, задерживают и грунтовый и поверхностный сток, причем меженнее грунтовое питание сокращается за счет всасывания болотом грунтовых вод. Поэтому осушение подобных болот способствует улучшению условий питания рек водою.

Немалое значение в процессе питания рек имеет и растительный покров, главным образом лесной.

Растительный покров, защищая почву от смыва наземными водами, образует вместе с тем поверхность значительной шероховатости, которая замедляет поверхностный сток, создавая более длительную инфильтрацию в грунт стекающей воды.

Лесной покров, преграждая движение нижних, насыщенных влагой слоев воздуха и заставляя их двигаться в восходящем направлении, вызывает уменьшение скорости их движения, что способствует выделению над лесом осадков. Часть этих осадков задерживается листвой и ветвями деревьев, а часть попадает на покрытую лесом почву, менее нагреваемую солнечными лучами, чем безлесная почва, и медленнее поэтому испаряется. Снеговые осадки под защитой леса медленнее тают и медленнее стекают, чем с открытых площадей.

Вместе с тем в течение вегетационного периода лес поглощает из земли очень много влаги и почти всю ее испаряет в атмосферу.

Таким образом влияние леса на сток может быть и положительным и отрицательным.

Дерево потребляет столько влаги, сколько необходимо для его роста, и берет эту влагу с глубины примерно на 1 м ниже глубины залегания своих корней, что для ели, сосны и березы, т. е. для господствующих у нас пород, не превышает 5 м. В силу этого, если грунтовые воды залегают неглубоко, а осадков мало, то леса, расходуя большую часть влаги на свое питание, уменьшают речной сток и действуют на режим рек отрицательно. Если же грунтовые воды залегают глубоким пластом,

а количество выпадающих атмосферных осадков значительно больше необходимого для питания леса, последний действует благоприятно на питание реки, замедляя поверхностный сток и создавая условия лучшего пополнения грунтовых вод (замедленная инфильтрация).

В общем, изучая вопросы влияния лесов на сток в бассейне Днепра, акад. Оппоков пришел к выводу, что леса в средней и особенно южной полосе Союза, исключая районы с глубоко залегающими грунтовыми водами, влияют на питание рек отрицательно. В северном районе за лесами остается положительное воздействие на питание рек¹.

Период, когда реки питаются главным образом грунтовыми водами и водами сточных озер, называется меженным или просто меженью. Период наибольшего поверхностного стока, когда в реке протекает наибольшее в году количество воды (для значительного большинства наших рек это бывает весной после таяния снега), принято называть половодьем или весенним паводком. Кратковременное увеличение расхода воды, вызванное случайными причинами (хотя бы из года в год или в течение года повторяющимися), например, выпадением дождей, неожиданным таянием льдов или снега (в горных реках), называют паводком, обыкновенно определяя его и временем прохождения: летний, осенний паводок.

§ 4. Речное русло

Дно речной долины или часть его, которую река занимает своими водами, называется руслом. Размеры русла в каждой точке по длине реки определяются поперечными сечениями (профилями), перпендикулярными направлению течения.

Так как количество поступающих в русло реки атмосферных осадков и грунтовых вод непостоянно и расход воды изменяется во времени и пространстве, то и поперечные размеры действующего, т. е. заполняемого водой, русла или размер его живых сечений будет величиной переменной, изменяющейся с изменением количества протекающей через него воды.

Оперировать при разного рода исследованиях с постоянно и в общем непрерывно изменяющимися живыми сечениями русла неудобно. Целесообразнее определять состояние русла в наиболее характерные периоды его быта. Такими периодами являются из года в год повторяющиеся периоды половодья, для большинства наших рек, как уже упоминалось, наблюдаемого весной, и период межени, когда река питается главным образом грунтовыми водами. Половодное русло работает

¹ Во внутриматериковом обороте влаги леса оказывают положительное влияние. Испаряя массу влаги, они пополняют ее запасы в господствующих воздушных течениях, которыми влага и разносится вглубь материков.

только в периоды наибольшего стока атмосферных осадков, когда высокие воды покрывают пониженную часть долины реки или, как обычно говорят, пойму.

Период половодья длится в общем короткое время, причем длительность половодья бывает в разные годы различна не только для разных рек, но и для отдельных частей одной и той же реки. Половодное русло заполняется водой сравнительно недолго: от нескольких дней (на малых реках) максимум до 2 месяцев (на крупных, преимущественно равнинных реках).

Половодное русло широко и в большинстве случаев имеет местные, порой значительные уширения. Обнажается оно постепенно по мере уменьшения расхода воды, по мере „спада“ ее, причем нередко заключает в своих границах остатки старых русел реки или так называемые староречья или старицы. Некоторые из стариц после спада воды оказываются в замкнутых контурах и представляют озера.

Таким образом половодное русло заполняется водой лишь периодически, по большей части один раз в год во время половодья. Иногда оно заполняется частично водами высоких осенних или летних паводков.

Меженное русло располагается внутри границ половодного русла и имеет свои меженные берега. Характеризуется оно тем, что сток по нему происходит непрерывно в течение всего года. Живые сечения меженного русла значительно меньше, чем половодного.

Меженное русло значительно отличается от половодного, особенно в равнинных реках, проходящих в сравнительно легко размываемых аллювиальных отложениях. Находясь под постоянным, в продолжение всего года, воздействием течения и переживая периоды зимнего режима, когда в потоке меняются гидравлические соотношения, чему не подвергается пойменное русло, меженное русло испытывает почти непрерывные деформации.

Пойменное русло, являясь также результатом работы потока главным образом в прошлом, находится в значительно большей степени в стабильном состоянии. Оно подвергается, как уже указывалось, действию только высоких вод, период прохождения которых сравнительно короток (для наших равнинных рек — $1\frac{1}{3}$ —2 месяца) и отражается на состоянии пойменного русла, по сравнению с меженным, в гораздо меньшей степени.

Прохождение высоких весенних вод весьма сложно и еще не изучено. В простейшем схематическом виде процесс нарастания высоких вод и заполнения ими русла реки можно представить следующим образом.

При наступлении таяния прежде всего начинает таять снег в пределах поймы и на склонах пойменных берегов, заполняя водой все пониженные места поймы: староречья, озера и низины. Если прибрежья поймы (гребни и площадки поймен-

ных берегов) обнажены, то одновременно на пойму начинают поступать талые воды и отсюда, прямо по склонам и по оврагам, усиливая наполнение пониженных участков поймы, заполняют и остальные ее части. Если гребни и площадки пойменных берегов покрыты лесом, то сток с них замедляется, и наполнение пониженных мест поймы и самой поймы будет происходить медленнее.

Заполняемые талыми водами староречья и другие пониженные места поймы частью имеют сообщение с меженным руслом реки, уровень воды в котором стоит ниже и поверхность которого еще покрыта льдом. Стоком из таких староречий и низин начинает пополняться и меженнее русло, получающее прибывающую воду также и с верховых своих участков.

Постепенно в меженнее русло начинает поступать талая вода и с поверхности поймы, уровень воды в русле поднимается и начинаются подвижки, а затем и ледоход. В начале ледохода заливаются только пониженные прибрежья меженного русла (береговые отмели, косы) и низкие острова, но ледоход идет еще в трубе (т. е. в меженных берегах), и перелива воды из меженного русла на пойму нет. Направление в этот период вод, прибывающих от таяния снега с поймы в русло, в общем поперечное по отношению к руслу меженных вод.

При дальнейшем усилении таяния пойма наполняется уже по всей площади из балок, ручьев и из пойм притоков. Низины, староречья и озера переполняются, получают сообщение с меженным руслом и вместе с пойменной водой стекают в последнее уже под острым углом к направлению меженного русла. Меженнее русло в это время также заполняется поступающей с верховых участков прибылью воды, начинает выступать из своих берегов и давать воду пойме.

Начинается второй период наполнения поймы. Течение прибывающих на пойму вод постепенно обращается из поперечного в продольное в одном приблизительно направлении с течением по меженнему руслу.

При дальнейшем наполнении поймы и меженного русла главная роль питательного канала переходит уже к меженнему руслу, которое получает воду с вышележащих участков и начинает заполнять пойму, занимая для пропуска все возрастающего расхода все большие и большие площади поймы. Уровень воды в пойме становится уже ниже, чем в меженнем (или, вернее, над меженным) русле, и течение отклоняется от меженного русла в обе стороны поймы, расплывается, сохраняя в основном продольное направление, в соответствии с общим уклоном меженного русла.

По мере приближения к периоду наибольшего наполнения поймы, т. е. к пику половодья, воды, наполняющие весеннее русло, идут одним потоком, подчинив течение и по направлению меженного русла и по пойме общему направлению, отвечающему общему уклону долины реки.

Поэтому основное ядро потока движется то по направлению русла меженных вод, то, гораздо чаще, по кратчайшему направлению по долине, спрямляя направление весеннего русла в его извилинах.

Приведенное описание работы поймы схематично и упрощено. В действительности работа поймы несравненно сложнее. Так например, когда пойма заполнена до подошвы своих (пойменных) берегов и продолжает заполняться дальше, начинает уже оказывать влияние и чередующееся расширение и сжатие пойменной долины (рис. 3). Переходя из узкой части в более широкое русло, поток растекается по нему, распластывается. По мере усиливающейся прибыли слои поступающей в пойму воды утолщаются, выпуклость в поперечном сечении водного зеркала сглаживается и поток более сосредоточенно направляется по пойме.

Пойма не представляет ровной плоскости, а имеет почти всегда капризный рельеф (результат работы реки, когда она прокладывала себе путь) и бывает покрыта не только кустарником, но нередко и группами деревьев и более или менее крупными местными возвышениями, расположенными в различных направлениях. Прибывающие воды, разбиваясь при начале наполнения поймы на ряд отдельных потоков различных, нередко перекрещивающихся направлений, протекают в общем с весьма пониженной скоростью, часто образуют водовороты, а местами приобретают и значительную скорость. Это сопровождается местными размывами поймы, обращающимися впоследствии в новые протоки.



Рис. 3. План части поймы р. Дона.

При спаде высоких вод начинается стекание воды из поймы в меженнее русло, которое является наиболее пониженным местом всей долины. Поэтому при спаде уровень воды в пойме держится выше, чем над меженным руслом и в поперечном сечении поверхность воды имеет в общем вогнутый профиль.

Течение по пойме из продольного переходит постепенно, по мере спада воды, в поперечное.

Пойма служит не только для пропуска расходов высоких вод, т. е. таких расходов, которые не могли бы пройти по меженнему руслу, но является и регулятором этого пропуска. Часть высоководного потока, движущаяся по пойме и составляющая крупную долю общего расхода воды, перемещается со значительно меньшими скоростями, чем основная часть потока,

направляющаяся главным образом по направлению меженного русла. Таким образом довольно большая часть расхода высоких вод как бы временно задерживается на пойме.

До сих пор мы говорили о реках, высокие воды у которых проходят весной, т. е. о реках, получающих питание преимущественно от весеннего таяния снегов и от летних и осенних дождей, не говоря, конечно, о грунтовых водах. Это реки европейской части нашего Союза, западной Сибири, значительной части Центральной Европы и Северной Америки.

Но есть ряд рек, у которых высокие воды проходят зимой. Питание их зависит главным образом от зимних осадков, так как летние, которых не меньше, чем зимних, совпадают с вегетационным периодом. Это реки Западной и Южной Европы, а также Малой Азии, Туниса и некоторых других стран.

У рек, протекающих в областях вечной мерзлоты, ввиду незначительного выпадения снега зимой, сколько-нибудь крупного весеннего подъема воды не бывает. Половодье наступает летом, в конце июля или начале августа, являясь результатом выпадения в течение лета сильных дождей, иногда переходящих в ливни. Дождевые осадки, выпадая на неоттаявшую водонепроницаемую почву, быстро стекают в реки, обращая их в бурные потоки. Такое половодье проходит сравнительно быстро и с большой силой, оставляя следы в виде крупной деформации в русле.

Высота подъема высоких вод бывает значительна. На наших реках амплитуда колебания их уровней достигает следующих величин.

Волга у Калинина	10,9 м	Днепр у Херсона	3,0 м
" Рыбинска	12,1 "	Дон у Калача	4,9 "
" Горького	12,8 "	Западная Двина у Витебска . .	7,2 "
" Ульяновска	14,2 "	Двинска . .	7,0 "
" Астрахани	4,2 "	Ока у Калуги	12,3 "
Днепр у Могилева	6,0 "	" Рязани	7,5 "
" Киева	6,8 "	Игарка	22,0 "
" Днепропетровска . .	6,8 "		

На реках Америки амплитуда колебаний уровня рек достигает 18—19 м, в Западной Европе 18 м, в исключительные годы 21,5 м (р. Ардеш в 1927 г.) и т. д.

Воды атмосферных осадков поступают в реки главным образом в периоды весеннего таяния снегов и в периоды ливней. Стекая в половодное и меженное русла рек по склонам их берегов, они вносят в реки и продукты смыва и размыва поверхности бассейна. Эти продукты смыва и размыва состоят как из мельчайших частиц грунта, так и из более крупных частей пород включительно до крупных камней.

Количество таких наносов весьма велико. Как показывают наблюдения, только одним смывом разрыхленных распаханых склонов долины сносится в год с 1 га до 100 т почвы. Огромные овраги, которыми часто бывают усеяны склоны берегов

речных половодных русел, дают большие выносы грунта, точно так же, как и впадающие в реки их притоки. Все эти наносы, соединяясь с продуктами размыва речного русла течением самой реки, частью переносятся течением как в взвешенном состоянии, так и влечением по дну, частью оседают в пунктах поступления в реку и большей частью откладываются в различных местах русла. Во время передвижения по речному руслу наносы размельчаются и истираются друг о друга и к устью реки доходят уже в виде мелких частиц, оседают там в большом количестве и составляют основную часть устьевых баров и дельт. На верхних, считая по течению, участках рек, наоборот, оседают и передвигаются наносы более крупных фракций.

§ 5. Уровни воды в реках. Паводки

Поверхность воды в реке принято называть уровнем или горизонтом воды. Количество поступающей в реку воды и проходящей по ее руслу складывается из вод атмосферных осадков и грунтовых. Оно различно не только в разных пунктах реки, но и для отдельных моментов времени и почти непрерывно меняется. В связи с этим меняется и положение уровня воды, который то опускается, то поднимается или, как обычно говорят, колеблется.

Положение уровня воды для любого пункта реки определяют возвышением его над какой-нибудь условно выбранной плоскостью. Для возможности сравнения положения различных уровней не только одной и той же реки, но и различных рек, удобно делать это сравнение по отношению к одной и той же плоскости. За такую плоскость принимают уровень Балтийского моря. Такое сравнение, требуя высотной связи с этим уровнем всех рек, далеко не всюду выполнено. Так как оно, кроме того, для отдельно взятой реки недостаточно наглядно характеризует взаимоотношение ее различных уровней, то у нас условились определять положение уровней воды для каждой реки относительно самого низкого уровня (названного нулевым), когда-либо наблюдавшегося на ней в течение навигационного периода.

Кроме самого низкого навигационного уровня может быть и самый низкий годовой уровень, т. е. самый низкий уровень воды за год. На многих реках самый низкий годовой уровень бывает ниже самого низкого навигационного, но последний удобнее для практических целей (главным образом для сравнения судоходных глубин), почему на нем и остановились.

На реках, где не удастся установить, за отсутствием данных, положения самого низкого навигационного или годового уровня, принимают условно какой-нибудь горизонт за нулевой и от него уже отсчитывают высоту уровней реки.

На основании многолетних систематических водомерных наблюдений можно установить как для изучения режима реки,

Таковыми уровнями являются уровни половодья (самый высокий, средний и самый низкий) и низкие навигационные и годовые (самый низкий, средний низкий и самый высокий из низких), уровни весеннего и осеннего ледоходов и ледостава (самые высокие, средние и самые низкие) и уровни летних и осенних паводков (самые высокие и средние). Если на интересующей нас реке или участке ее наблюдаются постоянные заторы льда, необходимо устанавливать положение самых высоких уровней подпоров, вызываемых заторами как при весенних, так и при осенних ледоходах.

Данные наблюдений на водомерных постах дают возможность установить, насколько часто повторяются те или иные уровни, установить частоту или повторяемость различных уровней реки, длительность стояния уровня на определенной высоте над нулем и скорость движения вдоль по реке паводков.

Фазы навигаций (рис. 4) за ряд лет и данные колебания уровня рек представляют в виде таблиц или чаще графиков (рис. 5).

Рис. 4. Фазы навигации и колебания уровня.

Для сравнения колебаний уровня реки за ряд лет кривые колебаний наносят на одном графике, как показано на рис. 5. Графики колебания уровней позволяют судить также и о характере прохождения половодья и паводков по всей реке или по избранному ее участку.

Кривая повторяемости или частоты уровней (рис. 6) получится, если мы отложим по оси ординат уровни воды через определенные интервалы (например, через 10 см, или 20 см и т. п.), по оси же абсцисс — число дней, в продолжение которых

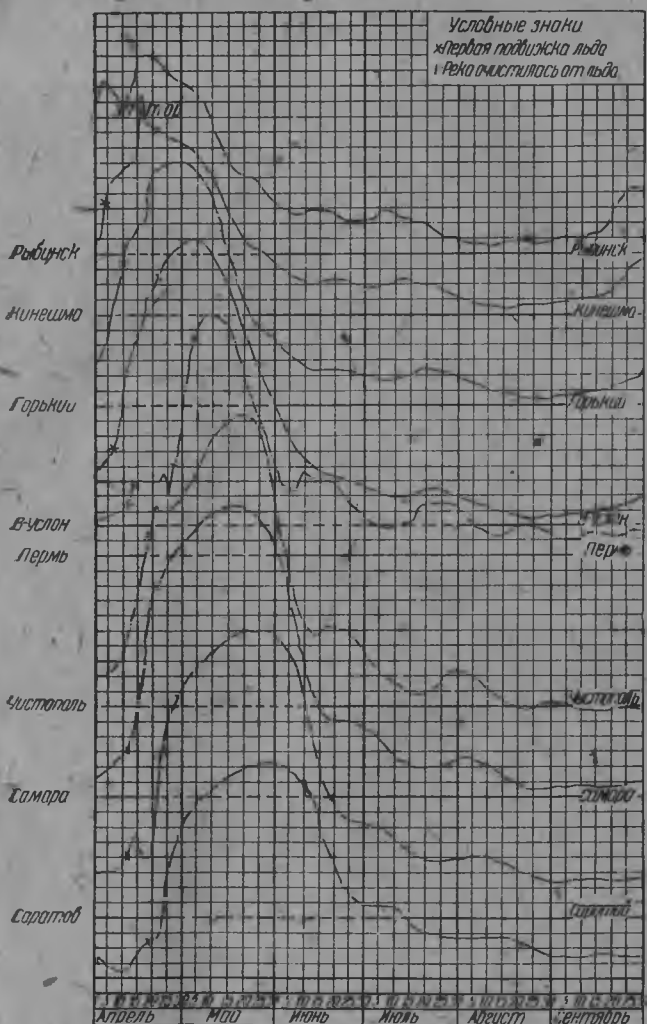


Рис. 5. Сравнительный график колебания уровня реки.

стояли эти уровни. График повторяемости строят как для навигации, так и для года и для большего периода. В последнем случае число дней обычно откладывают в процентах ко всему рассматриваемому периоду времени. Полученная кривая и будет кривой повторяемости уровней, показывающей, сколько времени бывает тот или иной уровень реки.

Продолжительностью стояния или покрытия какого-нибудь уровня называют период, выраженный числом дней, или процентом, какой эти дни составляют от рассматриваемого промежутка времени (за навигацию, за год, за несколько лет),

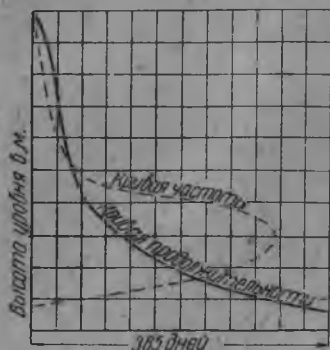


Рис. 6. Кривые частоты и продолжительности.

в продолжение которого горизонт воды в реке держался на этом уровне. Разбив амплитуду колебаний уровня в течение рассматриваемого периода времени на интервалы, как и для кривой повторяемости, и отложив их по оси ординат, откладываем для каждого уровня по оси абсцисс число дней (или процент), когда горизонт воды в реке стоял на этом уровне и выше него (рис. 6). Полученная кривая и будет кривой покрытия. Очевидно кривая длительности стояния является интегралом кривой повторяемости.

Колебания уровня рек бывают периодические и случайные. Первые повторяются из года в год в определенное время, вторые носят случайный характер. Для судоходных рек наибольшее значение имеет периодичность колебаний в течение навигационного периода. Она зависит главным образом от климатических условий длительности и интенсивности атмосферных осадков. В равнинных местностях с продолжительными зимами периодические колебания уровня находятся в зависимости от весеннего таяния снега, сопровождающегося весенним половодьем, повторяющимся из года в год. В областях с теплым климатом и незначительным выпадением твердых осадков высокие воды находятся в зависимости от периодов выпадения жидких осадков, т. е. дождей.

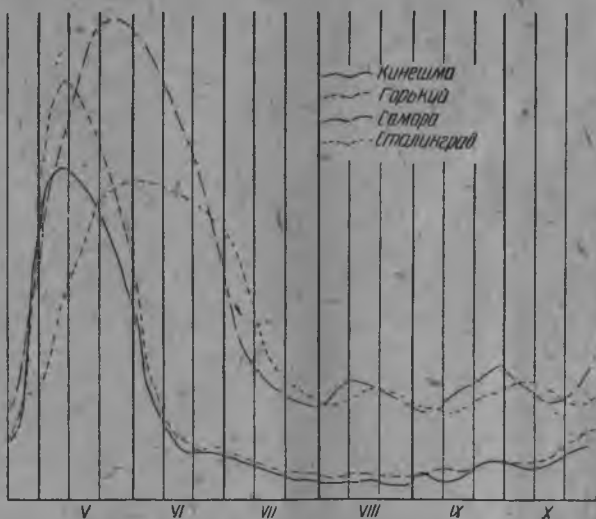


Рис. 7. График колебания уровней.

Случайный характер носят колебания уровня в летнее и осеннее время. Они зависят от случайного выпадения дождей, которое сопровождается большим или меньшим повышением

уровня реки (рис. 5) и проходит валом или, как говорят, паводками. Паводки обычно непродолжительны, но бывают случаи, когда они длятся значительное время. Паводки наблюдаются не каждый год, и бывают навигации, которые проходят совершенно без паводков.

Насколько различны бывают высокие воды и вообще колебания уровней в течение навигаций, показывают кривые колебания уровня на Волге (рис. 7).

Высокие воды были в 1926 г. на Волге вдвое выше, чем в 1921 г., и вся навигация прошла вследствие усиленного стока на Каме при непрерывных паводках (многогорбый профиль в Самаре — рис. 7), поддерживавших уровень воды на 3 м выше, чем в 1921 г., имевшем незначительный паводок лишь в конце навигации.

При продолжительной, сравнительно равномерной и значительной прибыли воды (например, от сильных длительных дождей) уровень реки, начав повышаться сначала постепенно, достигает по высоте своего максимума и в дальнейшем идет на этом максимуме слоем вдоль по реке с крутым уклоном своей лобовой (передней) части (рис. 8). Лобовая часть, мало



Рис. 8. Движение пика паводка.

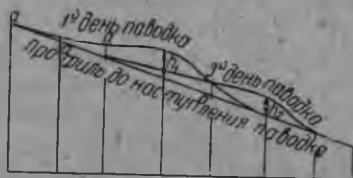


Рис. 9. Движение паводка.

изменяя уклон своего ската, как бы перемещается параллельно самой себе (рис. 8 — вторая кривая на нижележащем водомерном посту). По мере ослабления, а затем и прекращения выпадения атмосферных осадков и стока толщина слоя прибыли воды (т. е. высота паводка) уменьшается, и уровень реки принимает прежнее положение.

При одnogорбом графике летних колебаний уровня реки скорость перемещения гребня паводка вдоль по реке тем больше, чем больше его высота над бывшим перед паводком уровнем реки и чем скаты паводкового вала круче. Обыкновенно лобовой скат паводка имеет более крутой уклон, чем хвостовой (задний) скат, причем гребень паводка передвигается быстрее, чем лобовая и хвостовая его части.

В тех случаях, когда паводок не выходит из меженных берегов, высота его, по мере удаления от места поступления стока, уменьшается ($h_2 < h_1$, рис. 9), движение хвоста a — a замедляется и скат становится положе, лобовой же скат, перемещаясь быстрее хвоста, становится круче. По мере передвижения вниз по реке паводок становится все более и более плоским и наконец совершенно растекается по поверхности реки.

Если паводок выходит из берегов и разливается по пойме,

то нередко деформация его происходит в обратном направлении: распластывание идет главным образом в поперечном к течению реки направлении и конечные его части могут двигаться быстрее, чем гребень.

При нагоне одного паводка другим все эти явления еще больше усложняются.

Наблюдения и теоретические расчеты показывают, что при движении одиночного паводка в каждом сечении реки раньше наступает наибольшая скорость, затем идет максимум расхода и наконец максимум высоты, причем скорости перемещения этих максимумов различны и отличаются от скорости течения реки.

§ 6. Живое сечение русла реки. Скорости течения

Живым сечением реки, как известно, принято называть ее поперечное сечение, взятое возможно более перпендикулярно к направлению течения и заполненное текущей водой, т. е. живущее в данный момент с рекой общей жизнью. Живое сечение часто называют поэтому смоченным. Границами его являются поверхность воды и подводный или смоченный периметр русла, измеряемый по живому сечению. Для наших крупных равнинных рек, отличающихся значительной шириной и сравнительно небольшой глубиной, обыкновенно смоченный периметр принимают равным ширине реки. Погрешность такого приближения невелика даже для нешироких рек¹ и при практических расчетах значения не имеет.

След пересечения поверхности воды в реке с плоскостями береговых откосов называют урезом данного уровня реки (или просто урезом), а шириной реки считают расстояние между урезами по линии, перпендикулярной к направлению урезам.

Живое сечение является величиной переменной. Каждому уровню реки соответствует свое живое сечение.

Хотя расход воды в реках зависит главным образом от климата, геологии и рельефа бассейна, практически мы считаем расход воды, проходящей через данное сечение, функцией последнего и выражаем живое сечение характеризующими его элементами: площадью, шириной и средней глубиной. Кроме того, учитывается и физическое строение самого ложа реки, именно род грунта, влияющего своею большей или меньшей шероховатостью на величину скоростей течения.

Зависимость между расходом Q , площадью поперечного сечения Ω и средней скоростью v_{cp} выражается следующей формулой

$$Q = \Omega v_{cp}.$$

Так как одна площадь недостаточно полно определяет представление о расходе воды и не дает возможности судить о зна-

¹ Для равнинных широких рек погрешность эта порядка 0,5—1,0%, для более узких — несколько больше 1%.

чении средней скорости, то вторым элементом берут ширину сечения, а третьим — среднюю глубину живого сечения. Последняя получается как частное от деления величины площади живого сечения на ширину реки.

Отношение величины площади живого сечения к длине смоченного периметра, как известно, называют гидравлическим радиусом живого сечения. Выше указывалось, что практически длину смоченного периметра живого сечения можно принимать равной его ширине. При таком допущении величина гидравлического радиуса будет равна средней глубине живого сечения, т. е. вместо гидравлического радиуса можно брать среднюю глубину.

Независимо от этого следует отметить, что в гидравлических расчетах для открытых русел правильнее брать не гидравлический радиус живого сечения, как это часто делается, а среднюю глубину, так как последняя более близко отражает влияние формы живого сечения на величину средней скорости течения.

Однако при этом нельзя упускать из вида, что высказанное положение справедливо только для живых сечений сравнительно правильной симметричной формы, не имеющих так называемых мертвых зон, т. е. частей, в которых не наблюдается по тем или иным причинам течения или же оно весьма слабо. Поэтому в живых сечениях асимметричных, с определенно выявляющейся глубокой частью ближе к одному или другому берегу (рис. 10), для определения средней глубины надо брать более глубокую часть, по которой проходит не менее трех четвертей расхода всего живого сечения, или площадь, которая составляет примерно не менее 60% площади всего сечения.



Рис. 10. Асимметричное живое сечение.

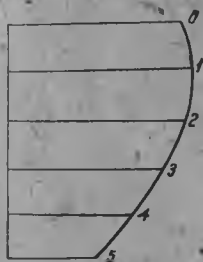


Рис. 11. Годограф типа параболы.

Что касается шероховатости русла, то на величину скорости влияет относительная шероховатость, представляющая отношение абсолютной шероховатости к глубине. Чем шероховатость поверхности русла больше, тем скорость течения (при прочих равных условиях) будет меньше. Вместе с тем, чем больше глубина реки, тем влияние шероховатости на среднюю скорость течения меньше, почему с повышением уровня воды в реке влияние относительной шероховатости на среднюю скорость течения уменьшается.

Как известно, скорости течения различны в разных точках живого сечения; они уменьшаются по мере приближения к берегам и ко дну и увеличиваются с увеличением глубины и приближаясь к поверхности. Изменения величины скоростей по

вертикалям одни считают близкими к параболе (рис. 11), другие — к логарифмической кривой (рис. 12). Проведя через точки 1, 1..., затем через точки 2, 2, 2... (рис. 11) каждой вертикали живого сечения обертывающую поверхность, примыкающую к смоченному периметру, мы получим объем воды, ограниченный этой поверхностью, плоскостью живого сечения и поверхностью воды и представляющий расход воды, который в секунду проходит через рассматриваемое живое сечение.

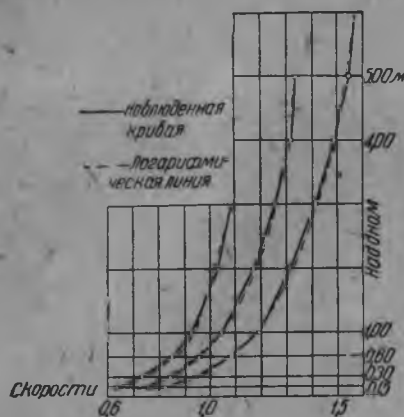


Рис. 12. Годограф типа логарифмики.

стей для каждого живого сечения, то получим некоторую кривую, называемую динамической осью речного потока. Таким образом динамическая ось — это кривая наибольших скоростей (для данного момента) течения вдоль по реке. Отклоняясь сравнительно незначительно в вертикальной плоскости (вследствие того, что наибольшие скорости располагаются вблизи от поверхности воды), динамическая ось в горизонтальном направлении располагается по извилистой кривой, приближаясь к вогнутым берегам и удаляясь от выпуклых. При наличии в русле островов и возвышающихся над водой мелей динамическая ось может раздвояться в соответствии с делением реки на рукава.

Так как наибольшим скоростям сопутствуют обыкновенно и наибольшие глубины в русле, то динамическая ось очень часто является и линией наибольших глубин. Такую линию

Соединяя между собою точки живого сечения с одинаковыми скоростями, например, 0,5 м/сек, 1,0 м/сек, 1,25 м/сек и т. д., мы получим изотахи, или кривые равных скоростей (рис. 13).

Если мы возьмем ряд живых сечений вдоль по реке и соединим на них точки наибольших скорости

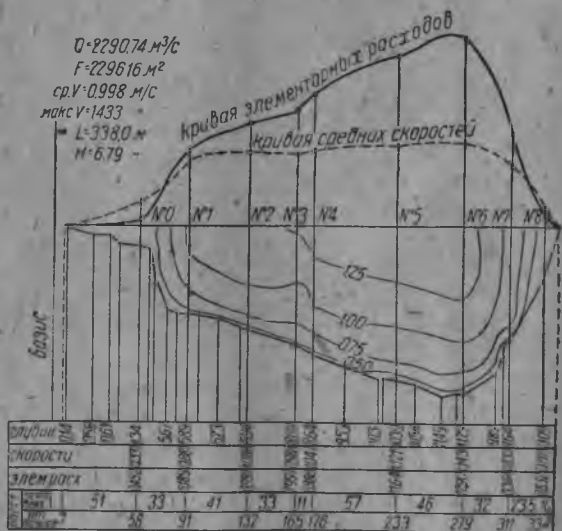


Рис. 13. Изотахи и кривые расходов и скоростей.

нередко называют стрежнем или фарватером, так как по ее направлению почти всегда располагается и судовой ход.

При изменении положения уровня реки меняется и вид изотак, а в связи с этим — обычно и положение динамической оси. Практически такие изменения при небольших амплитудах колебаний уровня на положении судового хода не отражаются, но при значительной прибыли или убыли воды судовой ход часто изменяет свое положение в плане.

Законы распределения скоростей течения в живом сечении как в горизонтальных его плоскостях, так и в вертикальных для турбулентного движения воды еще не ясны, ибо ни динамика, ни кинематика этого движения еще не изучены.

Поэтому скорости течения определяются по формулам, полученным экспериментальным путем на базе более или менее подробных исследований на различных реках. Естественно, что каждая из этих формул наиболее отвечает бытовым условиям тех рек, наблюдения на которых послужили материалом для ее вывода.

Основная формула для определения величины средней скорости равномерного потока

$$v = C \sqrt{RI} \quad (1)$$

была дана Шези еще в 1775 г. Это — общеизвестная формула, где R — гидравлический радиус рассматриваемого сечения, I — численная величина осредненного поверхностного уклона (мгновенного) того же сечения, чисто теоретическая величина, вместо которой берут уклон реки вдоль берега, и C — условный коэффициент. Коэффициент этот считали сначала постоянным, а затем, в результате произведенных исследований, стали принимать его в различных условиях непостоянным.

Несмотря на условность формулы Шези, она как практически наиболее удобная и по точности сравнительно немного уступающая хотя и более точным, но и значительно более сложным формулам, широко применяется в гидравлических расчетах.

Установление для турбулентных потоков закона пропорциональности сопротивления квадрату скорости, а затем большой ряд наблюдений и исследований позволили установить некоторую зависимость величины коэффициента C от глубины русла и свойств последнего, главным образом от относительной шероховатости. Разными исследователями было предложено большое число формул, которые можно свести к одночленным и многочленным.

Одной из старейших формул, давших значение коэффициента C в формуле Шези, является так называемая новая формула Базена:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\tau}{VR}} \quad (2)$$

Подставив значение C в формулу Шези (1), получим:

$$v = \frac{87RV\sqrt{I}}{\sqrt{R + \gamma}}, \quad (3)$$

где v — средняя скорость, R — гидравлический радиус, I — поверхностный уклон и γ — коэффициент, зависящий от степени шероховатости русла. Значения γ , приведенные ниже, колеблются от 0,06, до 1,75.

Значения γ в новой формуле Базена

- | | |
|--|------|
| 1. Для очень гладких поверхностей (цементная штукатурка, строганое дерево и т. п.) | 0,06 |
| 2. Для гладких поверхностей (доски, тесаный камень, кирпичная кладка и т. п.) | 0,16 |
| 3. Для бутовой кладки | 0,46 |
| 4. Для различного рода поверхностей: правильных плотных земляных, чистого мощения, грубой бутовой кладки | 0,85 |
| 5. Для каналов с земляными руслами в обыкновенных условиях | 1,30 |
| 6. Для каналов с земляным руслом, представляющим особо сильное сопротивление | 1,75 |

Заменяя в полученном (3) значении v , согласно приведенным выше соображениям, гидравлический радиус R средней глубиной живого сечения H , получим:

$$v = \frac{87H\sqrt{I}}{\sqrt{H + \gamma}}. \quad (4)$$

Формула эта наиболее удобна для применения в расчетах по выправлению и дает достаточно вероятные величины средней скорости v .

Практически достаточно точные величины средней скорости для всего живого сечения дают формулы Германека, выражающие значения v в м/сек:

$$\left. \begin{aligned} \text{Для глубины } H \leq 1,5 \text{ м} \dots\dots v &= 30,7 \sqrt{H} \cdot \sqrt{HI} \\ \text{''} \quad \quad \quad 1,5 < H \leq 6 \text{ м} \dots\dots v &= 34,0 \sqrt{H} \cdot \sqrt{HI} \\ \text{''} \quad \quad \quad H > 6 \text{ м} \dots\dots\dots v &= (50,2 + 0,5H) \sqrt{HI} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где I — поверхностный уклон.

Не останавливаясь на других формулах для определения средней скорости, отметим, что в практических формулах для определения величины C совершенно не учитывается зависимость коэффициента шероховатости от глубины, а, с другой стороны, оценка степени шероховатости различных тел произвольна и мало обоснована.

Многочисленность формул, устанавливающих соотношения между скоростями течения на различных глубинах, показывает, что все они дают только приблизительные соотношения.

Это при проектировании выправления, всегда следует иметь в виду, принимая меры, где представится возможным, для проверки полученных результатов наблюдениями в натуре на той реке, которую предполагается выправлять.

§ 7. Расход воды

Ранее упоминалось (§ 6), что расход воды, проходящий через данное живое сечение реки, практически является функцией последнего, точнее — функцией его формы, так как при изменении формы живого сечения деформируется и масса протекающей через него воды (а для единицы времени это и есть расход).

Секундный расход воды, являясь по существу функцией живого сечения, служит одним из основных элементов, характери-

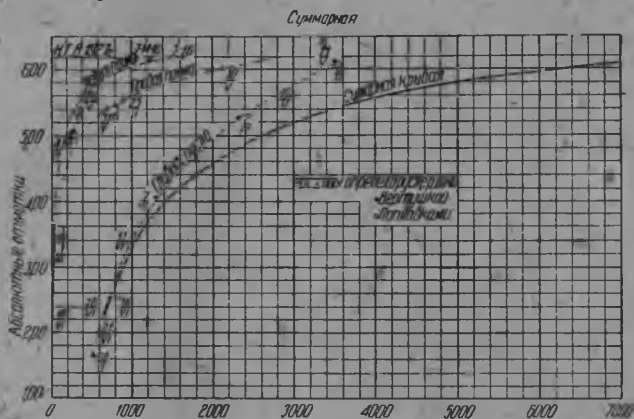


Рис. 14. Кривая расходов.

зующих режим реки. Самым надежным и обычно применяемым способом для определения расхода является непосредственное измерение живого сечения реки и скоростей течения по нему в большем или меньшем числе точек для определения величины средней скорости. Измерение расхода производят обыкновенно вертушками по способам, излагаемым в курсах гидрометрии.

Зная величину площади живого сечения и величину средней скорости течения, мы будем знать и расход воды.

Если средняя скорость неизвестна, но известен поверхностный уклон исследуемого участка реки, то среднюю скорость можно определить по формуле Шези.

Для каждой реки существует известная зависимость между величиной расхода воды и положением ее уровня. Принимая, что уровень воды изменяется однозначно с уклоном ее поверхности, мы можем для данного живого сечения приблизительно принять, что $Q = F(h)$, где h — высота стояния уровня воды.

Имея для интересующего нас живого сечения ряд расходов воды, определенных для различных высот стояния ее уровня,

и откладывая высоты стояний уровня по оси ординат, а по оси абсцисс — соответствующие им расходы, и отбросив расходы, явно неправильные по сравнению с близкими к ним по высоте уровня, при котором они определялись, проводим через группы точек плавную кривую (рис. 14). Это и будет кривая расходов. По этой кривой по данным расходам мы найдем уровни реки. При которых эти расходы имели место, и, наоборот, по данным уровням определим соответствующие им расходы.

Для аналитического решения рассматриваемой задачи приходится подбирать эмпирическую формулу с параметрами, наиболее согласованными с результатами наблюдений на исследуемом живом течении, так как зависимость между высотами стояния уровня и расходами воды различна не только для разных рек, но и для разных участков одной и той же реки.

Обычно принимают, что расход воды Q и высота стояния соответствующего ему уровня над нулем связаны соотношением

$$Q = a + bh + ch^2$$

или реже

$$Q = bh + ch^3 \text{ или } Q = b + ch^3.$$

Значения параметров a , b и c отыскивают обыкновенно по способу наименьших квадратов.

Если приходится иметь дело с живым сечением, захватывающим пойму или вообще неправильной формы с резко различными глубинами (рис. 15), то зависимость между расходами воды и высотой стояния уровня приходится устанавливать по отдельным поясам высоты амплитуды колебаний уровня реки.



Рис. 15. Живое сечение неправильной формы.

Следует отметить, что стояние уровня реки на одной и той же высоте, но в разное время, на одном и том же живом сечении, не изменяющем своей формы, не является показателем равенства в эти моменты секундных расходов воды.

Наблюдения показывают, что во время прибыли воды расход через подобные живые сечения бывает больше, чем при спаде воды при том же самом уровне. Поэтому в подобных случаях для расходов, выраженных в зависимости от высоты стояния уровня, получаются две кривых: одна для подъема, другая для спада. Разность между расходами, как показали наблюдения, колеблется примерно от 6 до 13% всего расхода через живое сечение.

Так как живые сечения большинства рек изменяют свою форму либо непрерывно, либо периодически (например, в периоды высоких и низких вод), то кривые расходов будут соответствовать лишь тем периодам, в течение которых были сделаны наблюдения, послужившие для их построения. Для более правильного получения расходов по кривым, определенным для рек

с изменяющимся руслом, для всех периодов времени вводят поправки по методу Стаута, Больстера и др., как это излагается в курсах гидрометрии.

При регулировании рек необходимо знать не только наибольшие и наименьшие расходы, но нередко и расход за разные периоды года, длительность периодов времени, в течение которых расход реки сохраняет определенную величину, и т. д.

Для этой цели составляют кривые расходов воды о сопоставлении их с кривой колебания уровня. Построив кривую колебаний уровня (в определенном масштабе в прямоугольных координатах) за интересующий нас период времени (рис. 16), например, в днях, строят слева кривую зависимости расхода от высоты уровня, откладывая по оси абсцисс влево секундные расходы. По этим двум кривым строят кривую изменения расходов за тот же интересующий нас период (кривая АА, рис. 16), откладывая величины секундных расходов против точек, отве-



Рис. 16.

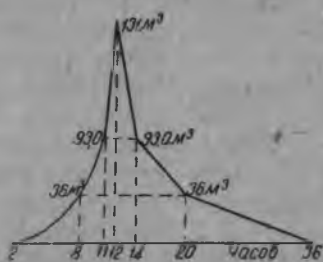


Рис. 17. Изменение расходов при паводке.

чающих времени их наблюдения, в том же масштабе, который принят для кривой расходов, выраженных в функциях высоты стояния уровня.

По графику кривой расходов АА расход за любой промежуток рассматриваемого периода или за весь период определяется величиной площади, ограничиваемой кривой АА, горизонтальной осью и соответствующими моментами времени ординатами.

Так например, расход за время с 1 по 5 мая определится площадью БВГД и т. д. (площадь может быть вымерена планиметром).

На рис. 17 показана для примера кривая изменения расходов одной из французских рек (Furens) за время 10—11 июля 1849 г. в период сильного паводка, прошедшего в течение 36 часов, причем в течение трех часов за этот период прошло $205\,200\text{ м}^3$ воды (пиковый треугольник).

Кривая длительности расходов строится таким же способом, как и кривая длительности покрытия, и имеет такой же вид.

Если по оси абсцисс отложить время, например, в месяцах, как это обыкновенно и делают, а по ординатам (также в определенном масштабе) — объемы воды, протекающей по реке в соот-

ветствующие им периоды времени, то, соединяя вершины ординат (рис. 18), получим так называемую интегральную кривую расходов. Разность высот ординат, ограничивающих какой-нибудь период времени (например, с июня по август, ab — vg , рис. 18), дает расход воды, протекающей по реке за это время. Если бы река имела в течение года равномерный расход, то очевидно интегральная кривая обратилась бы в прямую AB . Таким образом отношение величины ординаты (рис. 18), соответствующей расходу за год ко всему периоду времени B , выраженному в секундах, дает величину среднего годового секундного расхода.

Интегральную кривую составляют обычно для нескольких лет (см. материалы по исследованию р. Волхова: Вальман, Гидролого-гидрометрические исследования в бассейне р. Волхова).

Многолетний средний секундный расход реки в данном сечении называют модулем данного сечения. Модуль устьевго сечения называют также водоносностью реки.

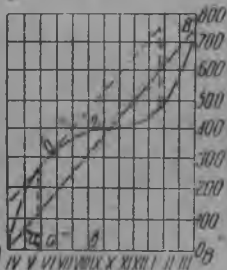


Рис. 18. Интегральная кривая расходов.

Водоносность разных рек весьма различна. Так например, за год по Волге у Вязовых, т. е. до впадения Камы, проходит около 116 км^3 , на Днестре до Киева — около 46 км^3 , по Оке у Орла — только $0,56 \text{ км}^3$ и т. д.

Абсолютные секундные расходы в разные периоды времени для одной и той же реки колеблются в больших пределах. Так, секунд- ный меженный расход Волги ниже впадения в нее Камы около 2719 м^3 , а во время поло- водья немногим более 40000 м^3 , т. е. в 15 раз больше. При низком уровне расход Днестра у Днепропетровска около 400 м^3 , а в половодье он достигает 21000 м^3 , т. е. почти в 52 раза боль- ше. На реках Западной Европы эти отношения гораздо больше и для р. Гаронны, например, достигают 1:117, а для р. Луары — 1:261, как и для нашего Дона, где отношение расхода при низ- ком уровне к половодному около 1:300.

Подобные отношения вообще меньше для рек равнинных и больше для горных, для которых они колеблются обыкновенно в пределах от 1:200 до 1:300, так что Дон в этом отношении является исключением.

Расходы воды вдоль по течению реки в соответствии с воз- растанием величины площади стока обычно тоже возрастают, в особенности после впадения крупных притоков.

У некоторых безустьевых рек, а также у рек, протекающих в гравелистых руслах, сложенных из мощных слоев гравия, наблю- даются случаи уменьшения расходов по длине реки, что объ- яняется просачиванием воды в грунт ложа. Иногда это уменьше- ние расхода по той же причине имеет местный характер и по мере уплотнения грунта русла сокращается, а расход постепенно начинает увеличиваться.

§ 8. Зимний режим рек

По мере приближения температуры воздуха к 0° и при дальнейшем ее переходе к отрицательной начинает приближаться к 0° и температура воды в реках. При дальнейшем остывании река покрывается ледяным покровом, и на ней, как говорят, наступает ледостав. Одновременно прекращается поверхностный сток, так как снег, если он выпадает, не тает, дожди при переходе температуры воздуха к отрицательным температурам бывают лишь в виде исключения, почему расходы в реках уменьшаются и уровни воды понижаются.

Ледостав наступает не сразу, а проходит известные фазы. Сначала обычно появляются закраины (или забереги), т. е. прибрежные, соединенные с берегом неширокие полосы льда. Закраины образуются около сравнительно пологих берегов с небольшой около них глубиной воды, охлаждающихся и промерзающих при понижении температуры воздуха довольно быстро. Быстро, вследствие этого, охлаждается около них и вода, так как охлаждение идет и через берега, и через подводные откосы, и с поверхности воды. У обрезных берегов и яров, охлаждающихся ввиду значительной их массы и большой около них глубины значительно медленнее, закраин не бывает.

С понижением температуры воздуха закраины утолщаются и увеличиваются по ширине, задерживая плывущие льдины и увеличиваясь за их счет.

Иногда, в особенности у мелких берегов, закраина, промерзая вблизи берега до дна, выдвигается в русло и отклоняет течение. Такие закраины (на Волге их называют закраинными уторами), отклоняя течение, могут вызвать переформирование русла.

Почти одновременно, но чаще несколько позже появления закраин, на реке, в результате охлаждения ее извне, появляются отдельно плывущие и постепенно смерзающиеся кристаллы льда, так называемое „сало“. Не следует забывать, что при охлаждении воды сверху ниже 4°C верхние ее слои, как более легкие, опускаться вниз не могут, так что вертикального перемещения или так называемой конвекции не бывает, а, как правило, охлаждение массы текущей воды происходит теплопередачей от верхних слоев к нижним.

Почти одновременно с появлением сала, но чаще несколько позже в подводных частях русла начинается образование так называемого донного льда. Это лед рыхлого губчатого строения, периодически всплывающий на поверхность, иногда покрывающий ее сплошной массой и дающий начало для образования льдин.

Существуют различные гипотезы образования льда (Гей-Люсака, Барнеса, Лохтина и др.). В последние годы выдвинута гипотеза советским профессором В. Я. Альтбергом, видимо более близкая к истине, чем гипотезы его предшественников.

По гипотезе Альтберга для образования кристалликов льда необходимы ничтожное переохлаждение воды (хотя бы сотых долей градуса) и относительная

неподвижность слоя воды, в котором происходит кристаллизация. Переохлаждение воды, появляющееся при достаточно низкой температуре воздуха, соприкасающегося с поверхностью воды в реке, происходит вследствие турбулентного перемешивания потока одновременно во всей его глубине, относительную же неподвижность имеет верхний и донный слои потока, так как верхний слой связан поверхностным натяжением жидкости, а донный слой непосредственно обтягивает (обволакивает) все шероховатости дна. Обязательность соприкосновения воды с атмосферным воздухом показывает, что донный лед может образовываться лишь при отсутствии лед. покрова. При выделении первичных кристаллов льда выделяется скрытая теплота, и если окружающая кристалл среда неподвижна, то она нагревается, и льдообразование прекращается. Если окружающая среда находится в движении, выделяющаяся скрытая теплота уносится течением, и кристаллизация продолжается. Весьма близко от дна русла имеются донные скорости конечных размеров, что обеспечивает удаление скрытой теплоты, которое будет тем полнее, чем больше средняя скорость течения. Если дно песчаное, подвижное (донное течение перемещает песок), то образующиеся ледяные кристаллы при взаимном трении песчинок стираются, и значительных скоплений донного льда не образуется. Наоборот, при галечном или вообще каменном русле, относительно неподвижном, донный лед может образовываться в значительных массах, почему и наблюдается обычно крупное образование донного льда в порогах. Как только сила пловучести донного льда (она пропорциональна его объему) превысит силу сцепления (пропорциональна поверхности соприкосновения), донный лед всплывает на поверхность реки.

Таким образом донный лед образуется преимущественно на участках реки, на которых нет еще ледяного покрова и достаточно велика скорость течения при сравнительно значительной неподвижности дна.

Гипотезе проф. Альтберга противопоставляют гипотезу инж. Ф. И. Быдина, не разделяющего взгляда на одинаковость, как правило, температуры воды по всему живому сечению реки.

Подробные наблюдения Бубендея на р. Эльбе в 1891—1892 гг. и наблюдения Быдина на р. Свири в 1929 г., разработавшего кроме того наблюдения Ячевского 1915 г. на р. Неве, показывают, что температура воды в реке по глубине вообще не одинакова и достигает разницы в сотых долях градуса (в одном случае у Бубендея даже десятой), причем по ширине живого сечения (Ф. И. Быдин) разница температур может достигнуть десятых и даже целого градуса. Это дает основание утверждать, что равенства температур воды по вертикалям и живым сечениям потока, как общее правило, нет и оно может быть допущено лишь в особых случаях, например, на порогах и т. п., где за отсутствием пока температурных наблюдений нельзя отрицать возможного полного перемешивания слоев воды.

По гипотезе Быдина для образования донного льда прежде всего необходимо иметь источник холода на дне (т. е. на смачиваемой поверхности русла), так как поверхностный лед опуститься на дно не может. Русла различных рек состоят из разных пород, теплопроводность которых всегда больше.

Донный лед, частью всплывая на поверхность и в большинстве случаев смешиваясь с салом, а частью пlying ниже поверхностного слоя воды, дает уже более плотное ледяное образование — шугу (жужгу, шорох).

Проходя по извилистому руслу и задерживаясь в извилинах (у вогнутых берегов) или около приверхов островов, масса шуги образует зажор и вызывает образование подпоров. При дальнейшем охлаждении температуры воздуха и воды начинается усиленное главным образом поверхностное льдообразование. Из соединения между собой пlyingущей шуги и сала образуются более или менее крупные льдины, беспорядочно движущиеся по течению. Льдины соединяются, смерзаются и образуют крупные ледяные поля, на некоторых реках назы-

ваемые лавами, которые достигают иногда ширины русла. Покрывая все русло, лавы постепенно останавливаются, и наступает ледостав.

Задержавшаяся в русле лава (в извилине русла, у острова, в суженном месте и т. п.) в свою очередь задерживает прибывающий сверху по течению лед, который и заграждает все живое сечение реки, создавая затор и вызывая образование подпора с пониженными скоростями течения.

Период с момента появления льдин и до момента наступления ледостава носит название осеннего ледохода.

Под совместным воздействием пониженных температур воздуха, охлаждения воды в реке и образования в ней льда, при одновременном и различном прохождении этого процесса не только в разных частях речного бассейна, но и на разных участках одной и той же реки, гидравлические соотношения в реках, по сравнению с незимними периодами года, значительно меняются. Это изменение гидравлических соотношений потока и характеризует его зимний режим. В периоды осенних ледоходов перераспределяются уклоны и скорости течения, а также и расходы, причем при одних и тех же уровнях наблюдаются различные расходы.

Расходы воды вдоль по реке перераспределяются весьма капризно вследствие того, что некоторые участки покрываются льдом, имеют зажоры или заторы, а на других в это же время появляются только забереги, третьи совершенно свободны от льда.

В реках, богатых притоками, на замерзающих участках увеличиваются сопротивления, уровни поднимаются и часть воды таким образом как бы застаивается, в результате чего расходы ниже таких участков снижаются и нередко очень сильно. После ледостава на участках со сниженным расходом, на них стекает вода, задержавшаяся на верхних, покрытых льдом участках. Уровни на нижних участках начинают подниматься, прибывает, как говорят иногда, черная вода. Она прибывает очень часто в продолжение двух-пяти декад. В устьевых участках черной воды обыкновенно не бывает.

Когда ледостав установится по всей реке, указанное перераспределение расходов по длине реки прекращается, и расходы постепенно уменьшаются до нормальной зимней своей величины, зависящей уже от грунтового питания.

В эти периоды продольный профиль принимает необычный и сложный вид, а уровни то поднимаются, то опускаются или остаются без изменения, стоят, как говорят, „на мере“. Участки с быстрым течением, особенно порожистые, очень часто совершенно не замерзают.

Образовавшийся на поверхности реки ледяной покров постепенно утолщается. Характер и степень увеличения его толщины в значительной мере зависят от хода изменений температуры воздуха и воды, от величины скорости течения и от толщины слоя снега, покрывающего лед.

После установившегося ледостава на реке, покрытой льдом сплошь по всей длине, уровень сначала колеблется в незначительных пределах, то поднимаясь, то опускаясь, а затем до весенней прибыви в большинстве случаев только понижается, а расходы воды уменьшаются (рис. 19 и 20), и резких колебаний уровня не наблюдается.

Ледяной покров также опускается и, задерживаясь закраинами, которые ложатся на откосы берега, получает по живым сечениям русла вогнутый профиль. При значительной убыли воды ледяное поле отрывается от закраин. При прибыви — ледяной покров получает в поперечном сечении выпуклый профиль, и если прибывь значительна и наступает быстро, то она либо поднимает лед, отрывая его у закраин, либо прорывает его и выступает наружу, разливаясь поверх льда.

Зимние паводки довольно редки и незначительны (рис. 20).

При наступлении весенней прибыви закраины, примерзшие к берегам, оттаивают не сразу, а постепенно, и в первую очередь

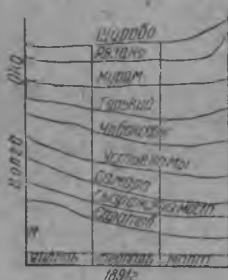


Рис. 19. Колебания уровня зимой.

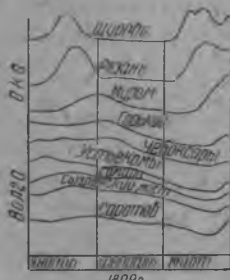


Рис. 20. Колебания уровня зимой.

прибыви водой (если высокие воды бывают весной) поднимается ледяной покров, находящийся на плаву.

Если прибывь значительна, то она отрывает русловой лед от закраин и заливаает закраины. Живые сечения по руслу, по мере поступления прибыви, начинают расширяться, течение приобретает более значительную скорость, давит на лед и при достаточной

высоте прибыви заставляет ледяной покров двинуться. Происходит первая подвижка, сопровождаемая появлением в ледяном покрове поперечных (между берегами) трещин. Первая подвижка продолжается обыкновенно несколько минут и заставляет лед пройти небольшое расстояние, примерно в 10—25 м, причем иногда лед на это расстояние разрывается по ширине реки. При дальнейшей более значительной прибыви наступает вторая подвижка, при которой лед, разорвавшись поперек реки, проходит уже несколько сотен метров.

На крупных реках обычно бывает не менее трех подвижек, на небольших реках — две, редко больше. Число подвижек зависит от размеров и интенсивности прибыви, расположения русла в плане, характера протекшей зимы и т. д. Под достаточным подъемом и напором прибывающей воды ледяной покров начинает ломать, и вся масса льда приходит в непрерывное движение. Крупные льдины под напором воды и сверху идущих льдин ломаются, и начинается полный или сплошной ледоход. Постепенно вся масса льда приобретает скорость движения, близкую

к скорости течения, и лед идет уже сравнительно мелкими льдинами, сплошь покрывая всю поверхность воды.

По мере подъема уровня реки и затопления поймы, т. е. при увеличении площади водного зеркала, ледоход разрежается и из сплошного обращается в редкий. Разрежение это усиливается, когда поступающий сверху лед проходит, и река несет уже только мелкий лед, от которого довольно скоро освобождается, „очищается“. Ледоход считают формально закончившимся, когда на реке „чисто“, т. е. на плаву нет льдин.

Описанное прохождение весеннего ледохода является, конечно, лишь схематическим. В действительности процесс прохождения весеннего ледохода несравненно более сложен.

Сплошь и рядом ледоход на притоках проходит раньше или позже, чем на основной реке, и если приток велик (а есть притоки, не уступающие по величине и расходам основной реке), он может внести в прохождение весеннего ледохода на основной реке большие изменения. Не меньшие изменения вносят заборы и заторы, вызывающие быстрое повышение уровней и образование подпора на вышележащих участках реки и уменьшение уклонов и скоростей течения.

Заторы при весенних ледоходах весьма опасны для водного транспорта особенно тем, что они нередко вызывают обратные ледоходы, т. е. направляя ледоход против течения.

В реках, текущих с юга на север, заторы обыкновенно более опасны, чем в реках обратного направления, так как половодье в них проходит более интенсивно и в более короткий срок. Вследствие этого и заторы на таких реках сопровождаются более скорым и более значительным подъемом уровней, т. е. приобретают более разрушительную силу.

Совершенно очевидно, что заторы могут вызывать в размываемых руслах рек крупные и неожиданные деформации.

Наступление ледостава сопровождается, как уже упоминалось выше, уменьшением расхода реки за счет превращения части воды в лед. На больших и глубоких реках, таких, например, как Волга или Днепр, за исключением их верховий, это уменьшение расходов при гидравлических расчетах по выправлению рек существенного значения не имеет и в расчет не принимается. На реках небольших и мелких потеря воды на льдообразование, особенно при сравнительно суровом климате, может быть весьма значительна, превышая часто половину расхода, а иногда и больше. Небольшие реки иногда промерзают до дна, т. е. расход их может быть близок нулю.

Точно так же и при весеннем вскрытии рек то увеличение расхода воды, которое происходит при обращении ледяного покрова в воду, для рек сравнительно крупных и глубоких существенного значения не имеет и проходит незаметно, так как ледяной покров обращается в воду при постепенном таянии с перемещением вниз по течению.

На реках небольших и мелких даже при постепенном таянии

льда обращение ледяного покрова в воду уже гораздо существеннее и заметнее, так как дает несравненно более значительное увеличение зимних расходов.

Что касается определения величины зимних расходов, то для этой цели можно пользоваться, как приближенными, соответствующими формулами, приводимыми в курсах гидрологии и гидрометрии.

При ледоставе скорости течения в живых сечениях, по сравнению с безледным периодом, перераспределяются, и годографы скоростей на отдельных вертикалях имеют иной вид. При наличии ледяного покрова река течет как в трубе со стенками разной шероховатости, и вид кривой изменения величины скоростей находится в большой зависимости от состояния нижней части ледяного покрова.

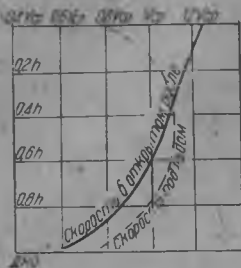


Рис. 21.

Для одной и той же вертикали оказывается, что чем толще слой шуги у нижней поверхности льда, тем меньше здесь скорости, причем при наличии шуги у ледяного покрова наибольшая скорость по вертикали располагается ниже середины последней, так как сопротивление слоя шуги почти всегда больше, чем дна русла. При отсутствии шуги наибольшая скорость располагается в большинстве случаев выше середины вертикали, так как сопротивление кристаллического льда, из которого состоит речной ледяной покров, меньше сопротивления дна русла.

По наблюдениям проф. М. А. Великанова на р. Томи (Гидрология суши, М. 1932) при наличии шуги у ледяного покрова наибольшая скорость по вертикали располагалась на 0,6—0,7 глубины, а при отсутствии шуги — на 0,3—0,4 глубины.

Затем наблюдения показывают, что при отсутствии шуги или при тонком ее слое скорости у нижней поверхности ледяного покрова и у дна близки по величине, но в общем у дна они все же меньше.



Рис. 22 и 23.

На основе специальных наблюдений на Дону (инж. Б. В. Поляков. Гидрология бассейна р. Дона. Ростов на Дону, 1930) были построены кривые (рис. 21) распределения скоростей по вертикалям по средним из отношений скоростей в отдельных точках (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 глубины) к средним скоростям данной вертикали. Кривая изменения скоростей под ледяным покровом (без шуги) показывает и для Дона почти одинаковые скорости у дна и около нижней поверхности ледяного покрова, а расположение наибольшей скорости на 0,4 глубины. По сравнению с распределением скоростей на вертикалях в открытом русле (рис. 21) видно, что скорости течения под ледяным покровом, начиная

примерно с 0,4 глубины и далее вверх, с уменьшением глубины резко уменьшаются, тогда как в открытом русле (безледном) они к поверхности увеличиваются. На глубинах больших 0,4 всей глубины по вертикали скорости в обоих случаях с увеличением глубины почти однообразно уменьшаются, но при ледяном покрове скорости значительно больше, чем в открытом русле. Увеличиваются зимой, по сравнению с открытым руслом, и донные скорости, что вызывает размывы дна русла.

В течение зимы, при нарастании толщины ледяного покрова, скорости течения на вертикалях возрастают и довольно значительно, как это можно видеть по годографам скоростей для одних и тех же вертикалей на р. Свири (рис. 22—25, приведенные Ф. И. Быдиным в его труде „Зимний режим и методы его изучения“).

При наступлении прибыли воды перед вскрытием реки скорости течения под ледяным покровом опять начинают возрастать и тем сильнее, чем интенсивнее идет прибыль, т. е. чем больше увеличивается уклон паводка. Как показывают разработанные Ф. И. Быдиным (в упомянутом выше его труде) сравнительные диаграммы распределения скоростей при одних и тех же уровнях при ледяном покрове, перед вскрытием реки и после ледохода (рис. 26), ледяной покров оказывает заметное сопротивление росту скоростей течения. Здесь мы видим ту же картину, что и при наблюдениях на Дону. При наличии ледяного покрова скорости вблизи него примерно также от 0,4 глубины вверх резко уменьшаются, а с увеличением глубины увеличиваются, причем на



Рис. 24 и 25.

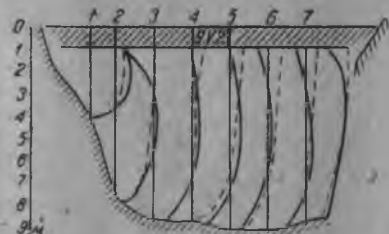


Рис. 26. Скорости перед вскрытием — и после ледохода — — —.

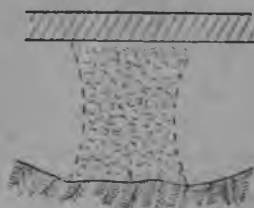


Рис. 27. Пятары.

большей части вертикалей скорости под ледяным покровом больше, чем при открытом русле.

Продолжительность ледостава на наших реках различна и меняется из года в год.

Реки, протекающие по южному району европейской части нашего Союза, покрываются льдом на срок от 2 до 4 месяцев, на севере той же части Союза ледостав продолжается от 6 до 8 месяцев, а в средней полосе 4—5 месяцев. Толщина льда, в зависимости главным образом от климатических условий

колеблется на наших южных реках от 0,3 до 0,7 м, а на северных — от 1 до 2 м.

Чем больше выпадает снега и чем толще слой его на льде, тем тоньше бывает лед и наоборот: при бесснежных зимах ледяной покров на реке бывает всегда толще.

Иногда на реках образуются так называемые пятры (рис. 27) — острова из шуги, вырастающие со дна и выступающие на поверхность воды, где они заканчиваются шапкой из кристаллического льда. Таким образом пятры, постепенно уплотняясь, образуют довольно плотные ледяные острова, связывающие своим телом донный лед с поверхностным.

У нас наиболее подробно пятры обследованы на р. Волхове (Е. И. Иогансон. Зимний режим р. Волхова и оз. Ильмень, Волховстрой, Ленинград. 1927).

ГЛАВА II

РЕЧНОЕ РУСЛО И ЕГО ДЕФОРМАЦИИ

§ 9. Плановые формы речного русла

Естественные плановые формы меженного речного русла, являющегося результатом работы самой же реки, определяются главным образом геологическими и топографическими условиями речной долины.

Всякая река, как общее правило, стремится придать своему меженнему руслу в плане извилистую или так называемую меандрическую¹ форму. Эта форма наиболее естественна для речных русел и наиболее устойчива.

Свойственна ли меженным речным руслам прямолинейная форма в плане?

Нет ни одной реки, протекающей в более или менее размываемых грунтах, русло низких меженных вод которой имело бы прямолинейное плановое очертание. Река, протекающая в неразмываемых и скалистых грунтах, также имеет извилистое меженнее русло, располагая его между мелями, которые отлагает она же сама в период высоких вод и между которыми русло ее располагается прихотливыми и неправильными извилинами, нередко переходящими в ломаную линию. Даже в скалистых горных реках меженнее русло старых рек не бывает прямолинейным.

Если мы обратимся к руслам высоких вод, то увидим примерно ту же картину, но, в соответствии с большим масштабом расходов, выраженную только более грубо, более схематично. Долины рек, сложенные из размываемых грунтов, представляют чередование расширений и сужений (рис. 3), т. е. ту же извилистую форму, являющуюся результатом также работы потока. Долины рек, протекающих в скалистых грунтах, лишь в исключительных случаях и только для горных рек имеют иногда плановое очертание, близкое к прямолинейному, но все же не прямолинейное. Попытки заковать реку в неразмываемые параллельные и прямолинейные на большом протяжении валы с целью получить „правильное“ русло для меженных и высоких вод оканчивались неудачей. Если половодное русло и получалось прямолинейным, то русло низких меженных вод в тех же валах всегда располагалось в плане по извилинам. Весьма убедитель-

¹ От названия весьма извилистой реки Меандр в Месопотамии.

ным примером, подтверждающим сказанное, служит Верхний Рейн, который был в период 1818—1840 гг. спрямлен при помощи прокопов, почти всюду прямолинейных или расположенных по пологим кривым (радиусом от 972 до 1500 м). Прокопы и свободные почти всюду прямолинейные части русла были ограждены незатопляемыми параллельными дамбами с расстоянием между ними от Базеля до Шенау (рис. 28) на протяжении 82 км в 200 м, а далее до Ляутербурга (ниже Страсбурга) — в 250 м.



Рис. 28. Регулирование верхнего Рейна параллельными незатопляемыми дамбами.

Ограждающие дамбы строились с интервалами, чтобы дать потоку возможность отлагать наносы вне русла, за дамбами, и таким образом поднять прилежащую низменную часть долины, изборозченную староречьями. По мере накопления наносов вне русла эти интервалы закрывали.

Наносы отложились за дамбами хорошо, но несмотря на то, что их было много вынесено за эти дамбы, они отлагались и между дамбами, и русло межених вод расположилось в плане частыми и нередко крутыми извилинами с мелями на переходах от одной извилины к другой.

Таким образом мы видим, что в естественном состоянии русла рек располагаются в плане в общем по извилистому направлению независимо от состава пород слагающих эти русла.

Это дает нам право заключить, что естественным речным руслам в их наиболее характерных состояниях — при половодьях и при средних и низких межених уровнях — свойственна извилистая форма в плане и что эта форма наиболее устойчива. В промежуточных стадиях стояния уровня рек, например, при высоких межених уровнях или при значительных летних и осенних паводках, когда река протекает в коренных межених берегах, подтверждения криволинейного расположения русла рек в плане мы во многих случаях можем не найти. Смачиваемые берега могут располагаться прямолинейно, когда прибрежные наносные побочки частично или полностью залиты водой. Вместе с тем имеются примеры, когда и огражденные непосред-

ственно материковыми берегами русла низких меженных вод точно так же располагаются в плане по извилистому направлению.

Наблюдения по внешним признакам за процессом образования кривизны русла при меженных водах, не касаясь сущности причин, вызывающих это явление, показывают следующее.

Допустим, что мы имеем прямолинейное русло, расположенное в размываемых грунтах. Течение по какой-то случайной причине, которую приписывали, а часто приписывают и теперь или местному повышению дна, или более плотному местному включению грунта в одном из берегов или в дне русла и т. п., начинает отклоняться к одному из берегов, например, к точке *а* левого берега (рис. 29). Напирая своей массой на берег, поток

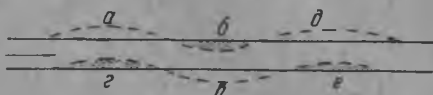


Рис. 29.

начинает размывать его, постепенно расширяя границы размыва вглубь и вдоль берега вниз по течению. В то же время противоположный берег *г* и часть берега ниже размыва *б* начинают обмелевать и скорости течения около них уменьшаются. Здесь нередко наблюдаются даже обратные течения, постепенно откладываются наносы, и берег в этих частях получает в плане выпуклое очертание (рис. 29, *б* и *г*).

Отклоняясь под воздействием нарастающей у *б* мели к правому берегу *в*, поток начинает размывать его, мель *б* растет и еще более отклоняет течение к правому берегу, постепенно получающему, как и берег у *а*, вогнутое очертание в плане.

Такой процесс будет продолжаться непрерывно вдоль по реке, пока на всем своем протяжении она не получит извилистой плановой формы. Вогнутости будут чередоваться с выпуклыми частями вновь формирующихся в описанном процессе берегов.

Процесс размыва вогнутых берегов и нарастания выпуклых может приостанавливаться или потому, что течение встретит в берегах более твердые породы, или же вследствие увеличения длины русла в результате развития извилины, вообще же вследствие изменения внутренних течений потока, под воздействием которых русло может притти к устойчивым формам.

Ширина меженного русла, будем ли мы рассматривать его в связи с прибрежными отмелями или по отношению только к коренным (материковым) меженным берегам, изменяется вдоль по течению реки. Как общее правило, она увеличивается от истоков к устью в некотором соответствии с постепенным увеличением расходов реки (волоносностью ее). Если рассматривать меженнее русло, ограничиваемое береговыми отмелями, то на перевалах ширина его обыкновенно больше, чем в прилежащих к перевалу частях плесов.

Наблюдения показали, что чем менее поддаются размыву берега меженного русла, чем они плотнее, тем положе изви-

лины русла. В свою очередь и долины рек при плотных, трудно размываемых грунтах бывают менее широки и извилины их более пологи. При сложении же русла рек из наносных грунтов, например, илстых, песчано-илстых или мелкопесчаных, реки имеют весьма извилистое русло, располагающееся в плоскодонной широкой долине. В этом отношении любопытны



Рис. 30. Прорыв петли.

многие из венгерских рек, отличающиеся вследствие развития извилин, т. е. длины, весьма слабым уклоном. Так, одна из крупных рек Венгрии, Тисса, на последних 250 км перед слиянием с Дунаем имеет уклон менее 3 десяти-тысячных. В 1900 г. в целях регулирования длина ее с 1200 км была уменьшена при помощи целого ряда спрямлений (прокопами) до 747 км, т. е. сокращена на 453 км (Prof. M. Fourrey. Cours de navigation intérieure. Paris, 1929).

Если берега реки легко размываются и в их составе твердых пород не оказывается, то получается неустойчивое извилистое русло, которое в процессе непрерывающегося постепенного размыва образует почти круговые петли (рис. 30), тесно сближающиеся в начале и конце каждой из них (рис. 30, а и б).

Подобного рода извилины в большинстве случаев, в особенности если высокие воды их заливают, замыкаются прорывом узкого перешейка *ab* (рис. 30), по которому и образуется новое русло, старое же (петля) постепенно замелевает. Проложив русло по кратчайшему пути, течение начинает более энергично развивать дальнейшие петли, также прорывать их и т. д. У нас подобные реки нередко встречаются среди сплавных путей в Волжско-Камском и других бассейнах.



Рис. 31. Перемещение русла.

Течение, производя размыв берегов, направляется к ним под острым углом, причем при постепенном из года в год повторяющемся размыве вершины вогнутых извилин, а в соответствии с ними и вершины выпуклых берегов перемещаются вниз по течению, т. е. происходит постепенное передвижение извилин вдоль по реке (рис. 31).

Если рассматривать ход деформации русла реки в плане, то мы увидим, что после перемещения извилины вниз по течению примерно на расстояние ее длины, место вогнутого берега займет выпуклый берег и наоборот. Говоря иначе, все ложе реки постепенно передвигается в продольном направлении вниз по течению.

При непрерывном постепенном перемещении извилин, т. е. русла вниз по течению, оно через более или менее значитель-

ный период времени принимает в общем старое, ранее наблюдавшееся плановое расположение, как это можно видеть и на наших крупных равнинных реках.

Описанным сложным движением русел вниз по течению объясняется периодический „отход“ рек от населенных пунктов и через некоторый период времени обратное их возвращение к этим же пунктам.

Перемещение меженного русла совершается в пределах коренных берегов долины, причем новые меженные берега создаются как размывом существовавших меженных берегов, так и созданием новых из отложений наносов, главным образом получаемых рекой от размыва своего русла (дна и берегов), а затем из получаемых рекой с поверхности бассейна.

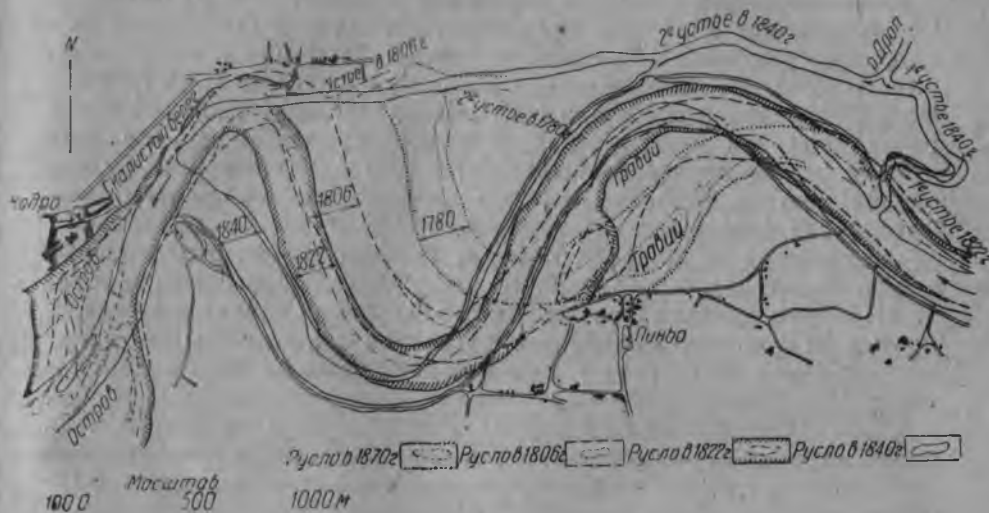


Рис. 32. Перемещение русла р. Гаронны.

Если один из коренных берегов долины неразмываем, то русло делает односторонние петли (извилины), постепенно перемещая их вниз по течению. Весьма типичным примером такого одностороннего перемещения служит меженнее русло р. Гаронны (Франция) на участке впадения в нее р. Дропа (рис. 32). Правый берег здесь скалистый и река развивает свою длину по левой низменной стороне долины, сложенной из размываемых грунтов. По точным съемкам с 1780 по 1840 гг., т. е. в течение 60 лет, верхняя по течению вершина извилины передвинулась вниз по течению на 575 м, вторая — на 625 м, а вершина третьей извилины — на 1050 м. Нижняя извилина, спустившись до скалистого берега, перемещаться далее вдоль по реке не могла и вершина ее врезалась глубоко в левый берег, значительно больше, чем в 1780, 1806 и 1822 гг.

Передвижение вниз по течению меженного русла рек, протекающих в размываемых долинах, сопровождается часто и описанными выше спрямлениями извилин (петель). В результате такого спрямления образуются острова и разделение русла на рукава. Подобного рода спрямления могут происходить и при более пологих извилинах, например, в таких случаях, когда, встретив в составе берега неразмываемые или трудно размываемые породы, течение устремляется по направлению более легко размываемых пород. Точно так же образование рукавов может происходить и в периоды половодья, когда течение, направляясь по линии наибольшего уклона, создает себе новое русло, причем старое русло обыкновенно обращается во второстепенный рукав с меньшими глубинами.

Подобным же образом русла рек делятся и на большее число рукавов. Распределяя между этими рукавами свой расход, река уже не в состоянии поддерживать их в том состоянии, в котором находилось русло до разделения на рукава. Вследствие этого один или два рукава (если русло, например, разделилось на три рукава) начинают мелеть, а другие (или третий рукав) разрабатываются. Нередко обмелевающие рукава закладываются наносами и постепенно отрезаются от основного русла, обращаясь в староречья.

На широких и плоских поймах, сложенных из легко размываемых грунтов, обыкновенно можно найти целую сеть староречий („стариц“), одна часть которых обратилась в удлинненные озера, другая совершенно сравнялась с поверхностью поймы, а третья представляет болотистые низины, заполняемые водой в половодье.

Иногда вновь образовавшиеся рукава бывают мелкими и ни один из них не разрабатывается сколько-нибудь значительно. На судоходных реках это — одно из тяжелых положений деформации русла.

В некоторых случаях причиной деления русла на рукава являются отложения мелей в самом русле. Постепенно нарастая и разделяя течение, эти мели обращаются в более или менее высокие и крупные острова.

Точно так же в реках, протекающих в скалистых или трудно размываемых руслах, отложение мелей в русле или иногда неровности дна, вызывающие отложения наносов, являются причиной деления русел на рукава.

Нередко рукава в свою очередь также дробятся. Это является либо результатом промыва острова, отделяющего коренное русло, либо следствием промыва одного из коренных берегов, или же вызывается отложением мелей в рукаве.

§ 10. Деформации русла при зимнем режиме

Значительные деформации происходят в меженнем русле и во время пребывания рек под ледяным покровом.

Действие льда на русло и на находящиеся в русле сооружения может быть приведено к четырем основным видам. Два из них могут быть отнесены к статическому воздействию льда и два — к динамическому.

При замерзании вода увеличивается в объеме на 8,4%. Если бы река замерзала по поверхности сразу, то очевидно образовавшийся на ней ледяной покров произвел бы и на берега и на сооружения, гребень или части которых будут находиться в уровне ледостава, значительное давление. Но ледяной покров в главной своей массе образуется постепенно, сначала в виде незначительной величины льдин, которые потом смерзаются в значительные ледяные поля. Эти ледяные поля двигаются по реке, и сплошной ледяной покров получается как результат остановки движения уже образовавшихся льдин. Вследствие этого увеличение объема воды при ледоставе, происходя постепенно, не оказывает заметного действия на увеличение давления ледяного покрова на берега и сооружения.

После ледостава, в течение зимы, при повышении температуры воздуха ледяной покров расширяется. Явление это изучено еще очень мало. Мы пока знаем только приблизительно примерную величину коэффициента линейного расширения льда. По одним опытам она равна 0,000052, по другим — 0,000035. Вместе с тем опыты (для плотины Кеокук, США) показали, что ледяной покров толщиной до 0,20—0,25 м достаточно гибок и при не особенно большой ширине может изгибаться под действием внутренних сил расширения. Нередко, изгибаясь, лед трескается. Это имеет результатом уменьшение давления на берега и на находящиеся во льду сооружения. На Волге, выше г. Горького приходилось наблюдать растрескивание изогнувшегося ледяного покрова при ширине живого сечения около 440 м и при толщине льда немногим более 0,50 м.

Подобного рода расширение ледяного покрова также особого действия на берега и сооружения не оказывает, так как первоначально ледяной покров на реках при убыли воды садится, причем береговая его часть остается на береговых откосах.

Расширяясь, ледяной покров, упирающийся в такую обвисшую часть льда, сминает ее, не принося берегам существенного вреда.

При подвижках льда перед весенним ледоходом, вызываемых прибылью воды, первая подвижка происходит обыкновенно с небольшой скоростью передвижения и на небольшое расстояние. Поэтому как для берегов, так и для сооружений, находящихся во льду, она опасности не представляет.

Вторая подвижка происходит уже с более значительной силой под напором большей массы прибылой воды. Она может вызвать разрушение берегов и сооружений, выдергивание свай и т. п., если ледяной покров не поднимается в интервалах между первой и второй подвижками выше гребня сооружений.

То же самое надо сказать относительно третьей и следующих подвижек.

Во время весеннего ледохода берега и русло реки, как мы видели выше, могут подвергаться разрушительному действию ледохода.

Кроме того, во время весенних ледоходов льдины переносят нередко по течению реки камни, деревья, срезают иногда даже плотные береговые мысы и подрезают берега, поросшие многолетними деревьями.

Инж. Ф. И. Быдин („Зимний режим рек и методы его изучения“) наблюдал на р. Свири в 1929 г. при дружном весеннем ледоходе, как „глыбы льда вспахивали по берегам канавы, выпирали курганы земли, ломая препятствия по пути, а вихреобразное (штопором) движение льда в иных местах высверливало ямы и борозды по дну. Последующие наблюдения за формированием осеннего ледостава на реке показали, что динамический размыв ложа реки может иметь место в ряде случаев и осенью“.

Многими наблюдателями замечался вынос камней со дна рек донным льдом на пойму и обратно; камни с берегов уносились поверхностным льдом в реку и при разломке льдин (при ударах о льдины или берега) оседали на дно, создавая в русле каменные огрудки. Это наблюдалось и на Волге около и выше Кинешмы, где после спада воды при промерах неожиданно находили каменные огрудки, в которых попадались камни величиной около $0,75 \text{ м}^3$.

Очевидно, такое перемещение камней, размывы дна и разрушение берегов при ледоходах не могут не оказывать влияния на последующее при спаде высоких вод формирование меженного русла. Еще большее влияние на зимнее переформирование



Рис. 33. Заполнение русла шугой.

русла, которое отзывается и на образовании летнего (навигационного) меженного русла, оказывают зажоры и заторы.

Характер образования зажоров весьма разнообразен и зависит от ряда местных условий. Зажоры на том или ином участке реки могут образовываться или в одном определенном пункте или в нескольких местах. Наблюдений над зажорами произведено еще недостаточно и поэтому пока приходится лишь констатировать в этой области те или иные явления и давать им пока предположительные объяснения.

При зажорах живое сечение реки в большей или меньшей степени заполняется мягкой и сравнительно легкоподвижной

снеговидной массой, шугой. Стало-быть зажоры—это результат скопления ледяных отдельностей главным образом донного образования.

Скопляясь нередко в больших массах, независимо от того, имеется ли ледяной покров или нет, и образуя зажор, шуга передвигается вниз по течению с большей или меньшей скоростью, нарастая с верхней стороны по течению и медленно рассасываясь с нижней.

На рис. 33 показано постепенное заполнение шугой живого сечения р. Волхова, наблюдавшееся в 1922 и 1923 гг. В течение 23 суток $\frac{4}{3}$ площади живого сечения было забито шугой. Еще большее заполнение наблюдалось на другом профиле (рис. 34), где лишь незначительная часть площади осталась свободной.

Наблюдения показали, что распределение скоростей по живым сечениям получается при этом крайне своеобразное и весьма отличное от распределения летом и зимой (в последнем случае на участках реки, свободных от шуги).

Расход воды в живых сечениях, забитых шугой, снижается, причем в пространствах, не заполненных шугой, скорости течения обыкновенно значительно повышаются. Все это дает основание предполагать, что быт участка реки, забитого шугой, значительно искажается и что зажоры могут оказывать большое влияние на переформирование русла, что, конечно, и следует учитывать.

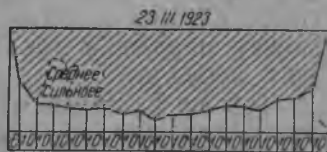


Рис. 34. Заполнение русла шугой.

Небольшое сравнительно число наблюдений над шугой пока показывает, что деятельность зажоров проявляется одинаково как при наличии ледяного покрова, так и без него. Какими мерами можно удалить шугу, мы пока не знаем. Иногда удается справиться с небольшими ледяными образованиями шуги, удаляя ее вычерпыванием (Е. А. Водарский. Хворостяные работы. СПб. 1913) или увеличивая скорости течения при помощи опускных щитов (сужением живого сечения). Все остальные способы цели не достигают.

При заторах река преграждается льдинами, нагромождающимися одна на другую и образующими как бы ледяную плотину неправильной формы с внешней торособразной поверхностью. Затопы, в противоположность зажорам, держатся короткое время. Они образуются при ледоходе, если лед во время движения задерживается островом, яром, или вообще каким-нибудь препятствием. Остановившаяся льдина создает преграду движению прибывающего сверху по течению льда, который набивается до дна и закрывает таким образом все поперечное сечение.

Нередко при начале ледохода ледяной покров задерживается в изгибе русла, по всей его ширине, и если выше уже начался

ледоход, то он будет задержан стоящим в изгибе льдом, начнет под него набиваться и закупорит все сечение, т. е. образует затор.

Затор тотчас же вызывает образование подпора, и пока напор течения не достигнет величины, достаточной для сдвига затора, затор будет стоять. Как только напор достигнет известной силы, затор прорывается и ледоход продолжается. Очевидно, чем извилистее и уже русло реки, чем оно мельче и чем толще лед, тем возможности образования заторов больше.

В период образования затора скорости у дна значительно увеличиваются и могут сильно размывать русло.

При прорыве заторов течение приобретает также очень большие скорости и, устремляясь большой массой, увлекает и массы льда, часть которого наносится на берега и разрушает их (динамическое действие льда). Вместе с тем и само течение, устремляющееся в прорыв затора с большими скоростями, разрушительно действует не только на берега, но и на дно русла. Эффект этого действия, понятно, значительнее, чем при нормальном течении. Так как прорывы заторов происходят очень часто не на самом глубоком месте прегражденного ими живого сечения, то устремляющееся в прорыв течение может разработать в русле глубокий ход в стороне или на перерез существующему, что может повлечь и серьезную переработку в этом месте меженного русла.

Так, на р. Енисее (М. А. Великанов. Гидрология суши), где крупногалечное ложе имеет сравнительно большую устойчивость и перекаты мало изменяют свое очертание из года в год, достаточно бывает одного затора на перекате, чтобы его очертания коренным образом изменились и судовой ход принял совершенно иное направление.

Заторы опасны также вследствие вызываемых ими больших и быстрых подъемов уровня, а также нередко обратных ледоходов, о чем мы говорили выше.

Основными мерами борьбы с заторами являются меры профилактического характера, предупредительные, т. е. устранение препятствий для прохода льда при ледоходах. Для этого в извилинах и узких местах, где лед может задержаться, следует до ледохода разбивать ледяной покров на части и следить за прохождением ледохода, не позволяя льдинам сгуживаться и немедленно разрушая взрывами начинающие образовываться пробки.

Вопрос о величине давления льда на берег и на сооружения далеко еще неясен. При постройке плотин для водохранилищ и при гидроэлектрических станциях действие льда учитывается в виде дополнительной нагрузки по различным „практическим“ нормам, причем нормы эти весьма разнообразны и далеко не всегда находятся в зависимости от интенсивности давления льда.

Так, Миз (Barnes, H. Ice Engin., Montreal, Canada, 1928) дает для давления льда от 34 до 47 фунтов на пог. фут (103—142 кг

на 1 м), а североамериканская практика в климатических условиях, близких к нашим, дает еще более широкие пределы.

При проектировании выправительных сооружений, которые строятся почти всегда на 0,70—1,0 м выше наиболее постоянного меженного уровня и обыкновенно ниже уровня весенних ледоходов, дополнительное давление от льда в расчет не принимается, но учитывается истирающее действие льда (при ледоставе и вскрытии), с какой целью откосам сооружений, подвергающимся напору льда, и площадкам гребней придают возможно более гладкую поверхность.

§ 11. Зависимость между плановыми формами русла и рельефом его дна

Как мы уже видели, меженнее русло реки представляет в плане последовательно расположенные криволинейные участки, кривизна которых направлена в противоположные стороны. Иначе говоря, каждые два соседних криволинейных участка меженного русла представляют в плане двухсторонний изгиб обычно с прямой вставкой *ab* (рис. 35).



Рис. 35. Двухсторонний изгиб русла.

Проходя вдоль вогнутого берега и размывая его, поток одновременно размывает около него и русло, образуя в его дне продолговатую вымоину, называемую плесовой ложбиной или ложбиной (рис. 36). Дно от ложбины постепенно поднимается к противоположному выпуклому берегу, так что в живых сечениях по изгибу русла наблюдается односторонний его размыв.

Вследствие появляющейся у вогнутых берегов центробежной силы поток прижимается к ним и поверхность его поднимается выше, чем у противоположного мелкого выпуклого берега (рис. 37). Поперечный уклон поверхности воды может быть определен по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{Rg},$$

где R — радиус кривизны вогнутого берега, v — средняя скорость течения и g — сила тяжести.

Вследствие одностороннего размыва русла на искривленном (вогнутом) участке живое сечение русла схематически будет иметь здесь форму разностороннего треугольника с самой короткой стороной около вогнутого берега и самой длинной — по дну и выпуклому берегу (рис. 36 и 37, поперечный профиль $C_1 C_2$, $D_1 D_2$ и $E_1 E_2$)¹.

¹ На рис. 36 и 37 обратные уклоны (по правому берегу) показаны для наглядности более резко, чем это бывает в натуре.

Чем круче извилина русла, т. е. чем круче вогнутый берег, тем глубже около него размыв русла и тем ближе к нему располагаются наибольшие глубины. При крутых извилинах берега

живое сечение его получает наиболее часто формы, показанные на рис. 38.

Вогнутый берег, как и соответствующий ему противоположный выпуклый очерчиваются в плане не одним и тем же радиусом, т. е. не представляют дуг круга, а имеют в границах изгиба различную кривизну. Начинаясь с радиуса большой, близкой к бесконечности величины, вогнутый берег постепенно, считая по течению, увеличивает свою кривизну обыкновенно до точки, лежащей несколько ниже середины всей вогнутой части берега. Далее кривизна берега снова постепенно уменьшается и принимает в конце вогнутого



Рис. 36 и 37.

берега очертание, близкое к прямолинейному.

Существует некоторая зависимость между глубиной у вогнутого берега и его кривизной.

Наибольшая вогнутость берега, иначе говоря, вершина вогнутой кривой, располагается выше (считая по течению) точки



Рис. 38.



Рис. 39. План перевала.

наибольшей глубины русла у подошвы вогнутого берега. В соответствии с этим располагается в плане и очертание мели у противоположного берега, т. е. выпуклый берег.

Переходя от одного вогнутого берега к другому, противоположному, но находящемуся ниже, поток должен пересечь русло наискось.

Течение, сконцентрированное у вогнутого берега и им направляемое, разрабатывает на этом переходе достаточно широ-

кий ход сравнительно однообразной глубины. Глубина ложбин дна (рис. 38 и 39) у вогнутых берегов по мере приближения ложбин к переходу постепенно уменьшается, глубина же перехода, всегда меньшая глубины ложбин, по всему переходу меняется сравнительно в небольших пределах. Таким образом переход представляет повышенную часть русла, отделяющую вышележащую русловую ложбину от нижележащей. Эти переходы течения от вогнутости одного берега к вогнутости противоположного нижележащего берега называют переломами.

Перевал лишь в исключительных случаях образуется непосредственным соединением ложбин русла у выше- и нижележащих вогнутых берегов (рис. 39); в этом случае перевал располагается по кривой двустороннего изгиба. Обыкновенно кривая входа на перевал (верхняя, считая по течению) и кривая сбег с перевала (нижняя) сопрягаются прямой вставкой небольшой сравнительно длины (рис. 35, аб).

Глубина перевалов, как упоминалось выше, всегда меньше глубин соединяемых ими ложбин. Поэтому, если мы имеем план русла реки, снятый при меженном горизонте, то перевал всегда будет лежать между замкнутыми изобатами, ограничивающими верхнюю (считая по течению) и нижнюю ложбины русла у вогнутых берегов. Вдоль по течению (рис. 39) перевал будет окаймляться изобатами меньшей глубины, проходящими около берегов.



Рис. 40.

Глубина перевала на всем его протяжении между замкнутыми изобатами ложбин будет колебаться в небольших границах, обыкновенно в пределах от 0,5 до 1,0 м.

В тех случаях, когда выше- и нижележащая ложбины у вогнутых берегов соединяются одна с другой¹ (что наблюдается в исключительных случаях), перевал располагается по большей части либо почти перпендикулярно к общему направлению русла, либо круто изгибаясь, даже с отклонением вверх по течению.

Если рассматривать расположение в плане меженного русла по отношению лишь к коренным материковым берегам, не принимая во внимание прибрежных мелей, то во многих случаях мы найдем перевалы, располагающиеся на прямолинейных (или весьма близких к прямолинейным) участках реки или, наоборот, — лежащих в начале или конце изгиба (рис. 40).

Таким образом русло рек, протекающих в сравнительно однородных легко размываемых грунтах, рассматриваемое при средних и низких меженных уровнях в границах смачиваемого периметра (или урезов), представляет в плане, как общее правило, ряд следующих одна за другой вогнутых кривых, напра-

¹ Например, если бы изобаты 1,0 и 1,5 м (рис. 56) верхней и нижней ложбин соединились.

вленных последовательно вогнутостью в противоположные стороны и соединяющихся между собой перевалами, располагающимися наискось к течению реки. У вогнутых берегов в русле всегда наблюдается образование глубоких ложбин, а у противоположных им выпуклых берегов — отложение мелей, ограничивающих русло. Наибольшая глубина русловых ложбин всегда находится ниже (считая по течению) вершины кривой вогнутого берега.

Такова зависимость между плановыми формами и рельефом дна русла средних и низких меженных вод, а нередко и русла вообще меженных вод¹.

Если вычертить продольный профиль меженного русла по линии его наибольших глубин, то получится наклонная волнистая линия, состоящая из вогнутых частей (рис. 41) и соединяющих их более коротких выпуклых частей. Вогнутые



Рис. 41. Продольный профиль меженного русла.

части продольного профиля — это глубокие участки русла у вогнутых берегов, их часто называют плесами², а выпуклые — это перевалы, соединяющие соседние вогнутые участки.

Таким образом меженнее русло равнинной реки по длине ее представляет чередование плесов и перевалов, располагающихся в общем по плавным линиям. По плавным же линиям располагаются обычно острова и мели, лежащие в русле, следуя в своем плановом очертании общим очертаниям меженного русла.

Чередование плесов и перевалов является общим для всех равнинных рек характерным признаком.

До сих пор мы говорили о меженнем русле реки, о русле реки в том ее состоянии, когда она питается почти исключительно грунтовыми водами, т. е. стоком сравнительно постоянного характера, не подвергающимся в течение довольно продолжительного времени быстрым и резким изменениям.

Если мы перейдем к руслу более высоких вод, например к летним высоким горизонтам, когда река питается и стоком

¹ Соотношения между плановыми очертаниями и рельефом русла служили предметом исследования и изучения многих гидротехников. Наиболее подробные исследования были произведены французскими инженерами Фаргом и Жирардон, в особенности Фаргом. Последний начал свои исследования уже в 1863 г. и продолжал их еще в начале текущего столетия (1908). Жирардон о результатах своих исследований сделал доклад на VI Международном судоходном конгрессе в Гааге в 1894 г. (VI Congrès de Navigation, La Haye. 1894). О результатах этих исследований мы говорим далее.

² Плесами также называют большие участки судоходных рек, отличающихся один от другого своими судоходными качествами. Так например, говорят „верхний плес Волги“, подразумевая Волгу от г. Рыбинска до г. Горького, в отличие от „среднего плеса“ — от г. Горького до устья Камы и „нижнего плеса“ — от устья Камы до Астрахани, имеющих иные судоходные качества.

поверхностных вод (например, от дождей), то увидим, что ширина ее естественно увеличивается вследствие возрастания расхода, и прибрежные отмели у выпуклых берегов и на перевалах покрываются водой. Кривизна изогнутых в плане участков русла вследствие увеличения его ширины смягчается, и перевалы становятся более пологими.

При заполнении прибывающей водой всей поймы изгибы меженного русла, как упоминалось выше, теряют свое значение. Масса воды, заполнив пойму, стремится по линии наибольших уклонов, спрямляя свой путь и следуя уже уклону долины.

В плане, как мы видели, длины равнинных рек представляют обыкновенно чередующийся ряд расширений и сужений, и если говорить о ступенчатости русла высоких вод, то надо иметь в виду, что ступенчатость эта будет совершенно иная, чем меженного русла.

Плеса русла половодья будут охватывать ряд плесов и перевалов меженного русла и местами будут пересекать меженнее русло.

Посмотрим теперь, в каком соотношении к продольному профилю русла будет находиться продольный профиль поверхности воды в реке.

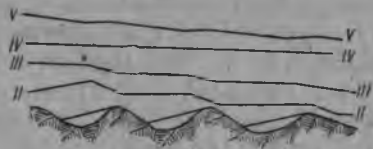


Рис. 42.

Начнем опять с меженного русла и представим его себе в сухом виде. Возьмем продольный профиль по линии наибольших глубин и допустим, что рельеф русла однообразен по всем живым сечениям (рис. 42). Допустим далее, что русло начинает заполняться с верховьев. Прежде всего, конечно, начнут наполняться плеса, и когда они наполнятся, предположим, что доступ воды в русло прекратится. Тогда уровень воды в плесах будет стоять горизонтально, перевалы будут сухи и как плотины будут отделять плес от плеса.

Допустим далее, что русло опять будет наполняться водой. Вода начнет уже переливаться из плеса в плес через перевалы, которые будут действовать как незатопленные водосливы. Очевидно, уклон поверхности воды в плесах будет меньше, чем на перевалах (положение II, рис. 42).

При дальнейшем постоянном и равномерном увеличении расхода воды перевалы обратятся постепенно в затопленные водосливы, уклоны на них уменьшатся, но все же будут больше, чем на плесах (положение III, рис. 42), на которых, наоборот, поверхностный уклон несколько увеличится.

По мере заполнения меженного русла прибывающей водой оно будет увеличиваться по ширине, так как прибрежные мели и пологие откосы берегов будут покрываться водой. В криволинейных частях русла течение постепенно будет располагаться более полого, так как все более и более будет отходить от вогнутых берегов к стрежню реки, менее и менее отжимаемое

противоположными выпуклыми берегами, постепенно покрывающимися водой. В соответствии с этим будет постепенно спрямляться и направление течения на перевалах. Поверхностный уклон начнет выравниваться и при некотором расходе воды на плесах и перевалах меженного русла может получиться одинаковый уклон (положение IV, рис. 42).

При последующем увеличении расхода и заполнении водой русла, но еще в пределах коренных меженных берегов, при значительных уже расходах воды, а стало быть и при значительном увеличении глубин на характер и распределение поверхностных уклонов начинает в преобладающей степени влиять плановое очертание русла, а не рельеф его дна, как это было ранее.

В такие периоды на плесах, т. е. вдоль вогнутых берегов, продолжающих влиять на направление течения, последнее испытывает добавочное сопротивление, для преодоления которого требуется накопление большего уклона, тогда как на перевалах такого добавочного сопротивления нет, и уклон на них будет уменьшаться. При известных условиях, т. е. при определенном расходе воды, вмещающемся в пределах меженных берегов, поверхностный уклон в плесах может оказаться больше, чем на перевалах (положение V, рис. 42).

При последующем росте расхода воды река начнет выступать из меженных берегов и заливать пойму. С этого момента влияние планового очертания меженных берегов на направление течения, на распределение поверхностных уклонов и на их величину уже теряет свое значение.

Течение, пройдя через переходный период (начальное наполнение поймы), когда поверхностные уклоны непрерывно меняются и часто весьма неустойчивы, начинает пролагать себе путь по более прямому направлению, но уже в новом русле, не меженном, а в русле высоких вод, пойменном, по отношению к которому меженнее русло является лишь частью.

Долины равнинных рек, как мы видели, состоят в плане из чередующихся расширений и сужений. Каждый расширенный и суженный участок обнимает ряд плесов и перевалов меженного русла, так что характерные участки русла высоких вод будут совершенно иные, чем характерные участки меженного русла. На расширенных участках высоководного русла будет меньший поверхностный уклон. Подобное распределение и характер уклонов зависят главным образом от высотных элементов продольного профиля русла высоких вод, т. е. долины реки, и в сравнительно меньшей степени от планового очертания долины.

Поэтому сравнивать в отношении поверхностных уклонов плесовые и перевальные участки меженного русла с расширенным и суженными участками русла высоких вод, включающими по несколько меженных плесов и перевалов, будет неправильно.

Говоря об обратном распределении поверхностных уклонов при меженных и высоких уровнях реки, следует иметь в виду, что такое сравнение будет справедливо лишь для уровней, лежащих в пределах меженного русла.

Рассматривая наполнение русла водой, мы говорили о постепенном и равномерном его наполнении. Это достаточно близко к действительности в пределах меженных горизонтов и особенно низких меженных, т. е. в периоды питания рек грунтовыми водами.

В пределах колебаний не только высоких весенних горизонтов, но даже и высоких летних уровней питание рек происходит главным образом за счет поверхностного стока. Поверхностный же сток поступает в реку и распределяется по бассейну, особенно рек значительной длины, весьма неравномерно и нередко протекает в течение короткого времени. Так, на больших многоводных реках крупные паводки иногда проходят в течение одного-двух дней, а на некоторых небольших реках, особенно в их верховьях, даже весеннее половодье проходит иногда в течение нескольких часов.

В соответствии с этим продольный поверхностный профиль реки при меженных уровнях и особенно при низких меженных имеет сравнительно постоянный характер, подвергаясь лишь медленным изменениям. Он может быть установлен с определенной точностью, представляя картину близкого к действительности положения уровня реки.

Продольный поверхностный профиль реки, снятый одновременно по всей ее длине при высоком уровне, дает нам представление о прохождении паводка на каком-либо одном из ее участков, так как на нижележащих участках реки в момент съемки профиля этот паводок еще не проходил, а на вышележащих — уже прошел.

Если мы зафиксируем положение, например, самого высокого уровня по всей реке, то получим изображение прохождения пика паводка, но не продольный поверхностный профиль реки.

На основании этого продольные поверхностные профили рек при высоких уровнях имеют всегда условный характер, что и следует учитывать при их рассмотрении и при сравнении с продольными поверхностными профилями при меженных уровнях.

Необходимо иметь также в виду, что в действительности продольный профиль поверхности воды в реках как при меженных, так в особенности при высоких уровнях представляет значительно более сложные кривые, чем описанные выше. Кривые эти меняют свою форму при каждом изменении уровня воды, а в связи с этим и с изменениями скоростей течения и в зависимости от быстроты подъема и спада паводков. Каждый раз мы будем получать новые продольные профили водной поверхности реки, не параллельные между собой и характеризующие лишь то состояние реки, которому они отвечают.

Общий характер продольного профиля самого русла реки от истоков ее до устья будет близок к продольному профилю долины реки, т. е. будет представлять наклонную кривую, постепенно понижающуюся от истоков к устью (рис. 43). Характер такой кривой различен для разных рек и зависит от гипсометрической структуры долин.

Средний уклон рек уменьшается обычно от истоков к устью. Однако такое уменьшение уклона не является общим правилом. Так например, верхнее течение р. Марны (Франция) имеет между Эпернеем и Ляньи средний уклон 0,20 м на 1 км. На среднем течении р. Марны средний уклон 0,28 м, а на устьевом участке ее — 0,55 м на 1 км. То же самое наблюдается на р. Роне (Франция) и т. п.



Рис. 43. Продольный профиль русла.

Такое распределение уклонов вызывается или присутствием в русле рек трудно размываемых мелей или порогов, или влиянием притоков, выносящих в основную реку массу наносов, или, наоборот, питающих ее значительным количеством воды, но с небольшим содержанием наносов. В последнем случае приток помогает основной реке размывать ее мели и вызывает уменьшение уклонов.

§ 12. Устойчивые и неустойчивые русла

Все реки можно подразделить на реки с устойчивым и неустойчивым руслом¹.

К устойчивым относят русла, прикрытые установившимися уже слоями наносов. Это русла, в которых равновесие между деформирующей (размывающей) русло силой потока и сопротивлением размыву грунтов, слагающих русло, нарушается незначительно и то только в периоды высоких вод, в периоды же межени между этими силами, по условиям течения и по характеру грунтов русла, равновесие сохраняется в довольно широких пределах.

В устойчивых руслах размыву подвергаются только верхние слои русла, и перемещение продуктов размыва происходит лишь на небольшое расстояние, почему наносы достигают устья рек в значительный период времени.

В реках с устойчивым руслом описанное выше чередование глубоких русловых ложбин или плесов с перевалами в общем сохраняется сравнительно стойко.

В неустойчивых руслах равновесие между размывающей силой потока и сопротивлением размыву грунтов, слагающих русло, нарушается непрерывно, причем в реках равнинных обычно дно русла постепенно понижается и продукты размыва и вообще

¹ Деление русел рек на устойчивые и неустойчивые и установление этих понятий принадлежат гидротехнику инж. В. М. Лохтину.

наносы передвигаются непрерывно по всей реке, постепенно измельчаясь. В реках, начинающихся в горах и выходящих на плоскость, понижения дна не наблюдается.

Неустойчивость русла не зависит от характера слагающих его грунтов. Если падение реки значительно и скорости течения поэтому велики, то неустойчивым будет русло, сложенное не только из песчаных грунтов, но и из более тяжелых, например, гравийных или галечных. Движение наносов в таких руслах будет происходить непрерывно и беспорядочно. Подобного рода реки находятся в периоде разработки своего русла, которое блуждает, имея однообразный уклон и постоянно меняющуюся глубину в одних и тех же пунктах. Устойчивого, описанного



Рис. 44. Р. Висла.

выше рельефа с чередующимися плесами и перевалами неустойчивые реки не имеют. Неустойчивые русла находятся как бы в динамическом состоянии, т. е. в состоянии постоянного переформирования как рельефа русла, так и планового его расположения. Река разбивается нередко на множество рукавов, из которых ни один не может считаться коренным или главным руслом; глубина всех рукавов незначительна, и они засорены наносами. Во время половодья рукава перерабатываются: одни из них еще более засариваются наносами, другие углубляются, и нередко при этом открываются новые протоки.

Довольно типичным примером реки с неустойчивым руслом является р. Висла (рис. 44). Русло ее на значительной части своей длины состоит из легкоподвижных мелкозернистых песков, так что очень часто при высоких водах все русло приходит в движение. Изменение рельефа русла происходит на р. Висле не только после прохождения паводков, но и в межень период,

выражаясь в последнем случае в передвижении отдельных мелей. Такого же примерно типа р. Аму-Дарья.

Само собою понятно, что в руслах подобного рода нельзя найти того типичного рельефа, характеризующегося чередованием плесов и перекатов, который мы имеем в реках с устойчивым руслом.

Сравнительная устойчивость русел рек может быть примерно охарактеризована коэффициентами устойчивости, представляющими частное от деления линейных размеров частиц наносов средней величины на величину среднего уклона.

Коэффициенты устойчивости, хотя и определяются в зависимости от главных и постоянно действующих элементов, наиболее влияющих на характер естественного быта рек, все же дают лишь весьма приблизительное представление о степени устойчивости русел рек. Наносы неодинаковы качественно и по геометрическим размерам своих частиц не только на различных участках реки, но и на одном и том же участке. Поэтому для каждой реки получается серия коэффициентов устойчивости, и среднее значение таких коэффициентов будет весьма приблизительно характеризовать устойчивость русла в целом. Таково же будет значение коэффициента устойчивости, если принимать во внимание среднюю для всей реки (или для ее участка) величину частиц наносов. Кроме того, коэффициенты устойчивости не учитывают ряда факторов, влияющих на видоизменение рельефа русла, как, например, абсолютного значения скоростей течения, длительности паводков, характера их образования, прохождения и т. д. Поэтому коэффициенты устойчивости могут служить лишь для грубоориентировочного сравнения степени устойчивости речных русел и притом не всегда дающего правильные результаты.

§ 13. Наносы

Русло каждой реки вмещает два потока: жидкий — воду, и твердый, который составляют наносы, находящиеся в воде как в твердом, так и в растворенном состоянии. Поэтому река имеет два расхода: жидкий — расход воды и твердый — расход наносов.

По аналогии с расходом воды твердым расходом называют количество, обыкновенно в весовых единицах (килограмм или тонна), а иногда и в объемных (куб. метр), твердых и растворенных наносов, находящихся в момент наблюдения в данном живом сечении реки.

Областью питания реки наносами является вся площадь ее водосборного бассейна и его недра, поскольку в них находятся питающие реку грунтовые воды и родники, а также и само русло реки как половодное, так и меженное. Главная масса наносов в общей их сумме является продуктом поверхностного выветривания пород, слагающих водосборный бассейн, а затем смыва их атмосферными осадками, стекающими в реку. Чем

больше разность высот водораздела и тальвега долины реки и чем уже сама долина, тем интенсивнее при прочих равных условиях размыв ее поверхности атмосферными осадками и тем больше поступление в реку наносов. При небольшом возвышении водораздела и при пологом с небольшим уклоном понижении поверхности водосборного бассейна размыв даже слабых пород, слагающих бассейн, бывает незначителен.

Наибольшие размывы и смывы, а следовательно, и наиболее значительный приток наносов в реку бывают при весеннем таянии снегового покрова, особенно если он происходит быстро и дружно. Во время продолжительных летних ливней, даже большой интенсивности, поступление наносов обычно невелико, так как такие ливни бывают кратковременны.

Значительно меньшую долю наносов дают размывы берегов и дна русла течением самой реки. Несмотря на наблюдаемые нередко крупные углубления дна, продукты таких размывов в общем балансе речных наносов являются второстепенным слагаемым.

На некоторых участках рек продукты выветривания иногда сдуваются в нее ветрами. Это эоловые наносы, достигающие местами сравнительно большого объема (Сталинградский район на Волге, некоторые участки Дона и т. п.).

Самым малым слагаемым в балансе твердого расхода в реках являются растворенные наносы, главным образом различные соли (наичаще углекислого кальция и хлористого натрия), заключающиеся в грунтах, по которым протекают питающие реки наземные и подземные (грунтовые) воды. В реках, берущих начало в лесных областях и болотах, часто преобладают в растворенных наносах гумусовые кислоты, придающие воде черный оттенок („черные“ реки).

Притоки рек увеличивают твердый расход последних в большей или меньшей мере в зависимости от степени их насыщенности наносами.

Овраги и балки, разрезающие иногда в изобилии склоны речных долин и в частности выходящие в русло, рассекая его берега, служат часто крупными источниками наносов, в особенности если они имеют крутое падение. Во время таяния снегов и сильных ливней они дают в русло иногда весьма крупные выносы.

Наблюдения над составом наносов, покрывающих дно рек, показали, что размеры их отдельных частиц уменьшаются от верховьев рек к их устью, что объясняется постепенным взаимным истиранием частиц. Подобное измельчение частиц тем резче и заметнее, чем больше уклон реки и мягче породы наносов. Истирание влекомых по дну частиц наносов принимают (по Штернбергу) линейно пропорциональным их весу и пройденному пути.

Перемещение течением наносов, поступивших в русло реки, совершается двумя основными способами: во взвешенном состоя-

нии и влечением по дну, почему и различают наносы взвешенные и донные¹.

Взвешенные наносы размещаются во всей массе жидкого потока, а для данного живого сечения — по всей его площади, за исключением придонного слоя, в котором располагаются наносы, перемещающиеся по дну.

Перемещение взвешенных наносов по руслу, как показывают наблюдения, главным образом лабораторные, совершаются по весьма сложным винтообразным траекториям, беспорядочно располагающимся в массе жидкого потока. С уменьшением размеров и веса частиц движение их усложняется, так как для изменения направления и движения достаточно самого незначительного воздействия потока. А так как гидравлические условия речного течения непрерывно изменяются и во времени и в пространстве, то подобным же изменениям подвергается и движение частиц наносов. Более крупные частицы располагаются ближе ко дну и в зависимости от крупности и веса перемещаются или вблизи от дна, или по дну, то перекатываясь по последнему, то отрываясь от него, т. е. переходя, в соответствии с изменениями условий придонных течений, из взвешенного состояния к донному движению (качению) и обратно. Поэтому точно и резко разграничить области донного и взвешенного движения наносов обыкновенно весьма трудно.

При таком беспорядочном движении наносов часть их может все же пройти от верховьев до устья реки во взвешенном состоянии, т. е. транзитом, точно так же, как и часть донных наносов может пройти всю реку, не отрываясь от дна. В последнем случае наносы будут продвигаться рассеянно, отдельными, надо полагать, некрупными группами. Возможно движение донных наносов и сплошным слоем. Такое перемещение их наблюдалось многими исследователями на различных реках, но оно, как можно заключить из наблюдений, совершается на небольшом сравнительно протяжении — порядка нескольких километров и в большинстве случаев одним слоем, толщина которого местами достигает 60 см. Подобное перемещение наносов приходилось наблюдать при спаде высоких вод в судоходном рукаве Волги (Ячменском) в 90 км выше г. Горького. Наносы двигались одним довольно плотным слоем, толщиной в 30—35 см, на протяжении около 3,5 км; далее они разжижались и частично, видимо, переходили во взвешенное состояние. Такое же передвижение наносов, но слоями меньшей толщины и на значительно меньшем протяжении, наблюдалось еще в нескольких

¹ Количество взвешенных наносов, проходящих в одну секунду через данное живое сечение и выражаемое обыкновенно в килограммах, т. е. расход взвешенных наносов, называют абсолютной мутностью или просто мутностью реки. Отношение абсолютной мутности к секундному расходу воды в том же живом сечении реки называют относительной мутностью и выражают ее в килограммах на куб. метр.

пунктах Волги между гг. Горьким и Тетюшами, при прохождении крупных летних паводков¹.

Допустима и возможность движения наносов в несколько слоев одновременно с различной скоростью каждого слоя, но лишь в исключительных случаях (например, при наносах весьма разной крупности или при различных грунтах наносов) и при условии значительного разжижения наносов.

По мере передвижения донных наносов от верховьев реки к ее устью изменяется по длине реки и механический состав взвешенных наносов, размер частиц которых, как уже упомянулось, также уменьшается по мере приближения к устью реки. Объясняется это главным образом постепенным выпадением более крупных фракций от взвешенного к донному влечению или оседанием и обратно — переходом во взвешенное состояние донных наносов, измельчаемых истиранием.

По мере передвижения вниз по реке количество взвешенных наносов уменьшается. Так например, по наблюдениям на Дону (инж. Б. В. Поляков. Гидрология бассейна р. Дона. Ростов-на-Дону. 1930) оказалось, что в Калаче в 1927 г. годовой расход взвешенных наносов был в 2,5 больше, чем у Азова, т. е. в устьях Дона (250 г/м^3 против 106 г/м^3), что является результатом общего уменьшения уклона и скоростей течения по мере приближения реки к устью.

Количество же растворенных в воде солей, наоборот, повышается от истоков к устью. Так, в Эльбе, по выходе ее из Богемии, количество растворенных наносов равно $64,5 \text{ г/м}^3$ воды, а в устьевой части у Гамбурга — 237 г/м^3 . Содержание солей в речных водах весьма различно и зависит от содержания их в грунтах, слагающих водосборный бассейн, но во всяком случае оно значительно меньше, чем содержание взвешенных наносов. Так например (М. А. Великанов. Гидрология суши), для Нила у г. Каира растворенных наносов от 150 до 200 г/м^3 , а взвешенных — от 50 до 1235 г/м^3 .

Изменение объема взвешенных наносов по длине реки происходит сравнительно медленно, за исключением участков, расположенных выше и ниже впадения притоков, более крупных балок и оврагов, если притоки, балки и овраги вносят в реку много наносов. При таких условиях количество как взвешенных, так и донных наносов резко увеличивается. Донные наносы распределяются по длине реки обыкновенно очень неравномерно.

Систематических, правильно организованных наблюдений, позволяющих установить соотношение между количествами

¹ Детально перемещение наносов наблюдалось у сибирских пристаней, в г. Горьком на Волге. Наносы передвигались слоем в 20—25 см, но в них наблюдалось присутствие донного льда и скорости течения были около 2 м/сек , так как русло было сжато выправительными сооружениями (инж. А. И. Лосневский. Лабораторное исследование процессов образования перекатов. Гострансиздат. Ленинград. 1934).

взвешенных и донных наносов, мы не имеем. Сравнительно небольшое число исследований, произведенных в этой области, дает пестрые и иногда разноречивые результаты, но все же позволяет установить, что реки переносят значительно больше наносов во взвешенном состоянии, чем влечением по дну. Так, по данным исследований инж. Б. Аполлова, в устьях Волги влечением по дну проходит от 1/500 до 1/1200 количества наносов, перемещаемых во взвешенном состоянии; по данным инж. Б. Полякова, на Дону взвешенных наносов проходит примерно в 600 раз более, чем донных. Проф. В. Г. Глушков установил, что на р. Мургаб донные наносы составляют 1/150 взвешенных. Подобные соотношения подтверждаются и рядом иностранных исследователей (Эадс, Кортель, Фаргнен и др.).

Отношение наибольшего расхода взвешенных наносов к наименьшему их расходу всегда значительно больше отношения наибольшего жидкого расхода к наименьшему. Например, для Дуная (проф. М. А. Великанов. Гидрология суши. Москва. 1925) минимум относительной мутности 0,002 кг, а максимум — 2,153 кг; для Эльбы — минимум 0,001 кг, а максимум — 0,756 кг.

Сопоставление величины расходов жидкого и твердого стоков в различные моменты годового периода показывает, что прямой связи между ними нет. Обычно одинаковым по величине жидким расходам соответствуют различные твердые расходы, но в общем все же количество перемещаемых рекою наносов увеличивается с возрастанием расхода воды.

Наблюдения показывают, что наибольшей величины твердый расход достигает обыкновенно в период прохождения половодья. В это время проходит на многих реках до 95% всего годового стока наносов, причем, если река замерзает и половодье наступает весной, то в подавляющем числе случаев максимум расхода (пик) взвешенных наносов проходит ранее максимума (пика) жидкого расхода и совпадает с периодом весеннего ледохода. Это можно объяснить, с одной стороны, ранним таянием снега в оврагах и балках, также ранним вскрытием притоков, т. е. ранним стоком местных вод, а с другой — разрушительным действием ледохода по отношению к берегам рек.

Зимой, когда река покрыта льдом, расход взвешенных наносов незначителен, причем наибольшее количество наносов наблюдается вскоре после ледостава, когда, очевидно, и происходит основное переформирование зимнего русла, обращающегося в трубу и попадающего в иные гидравлические условия, чем в периоды, свободные от ледяного покрова.

Незначителен расход взвешенных наносов и в меженьный период, когда отсутствует сток твердого расхода с водосборного бассейна.

Как показывают наблюдения, правда, немногочисленные, в таком же примерно порядке распределяется и расход донных наносов, — в периоды половодья он достигает максимума.

По наблюдениям, произведенным в 1927 и 1928 гг. на Дону (Б. В. Поляков. Гидрология бассейна Дона), количество взвешенных наносов распределялось следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Распределение взвешенных наносов (р. Дон)

Месяцы	Наносов взвешен. 100 м ³ беспустотной породы		В % от годового объема	
	1927 г.	1928 г.	1927 г.	1928 г.
Январь	5,44	3,88	0,19	0,12
Февраль	2,42	3,88	0,08	0,12
Март	10,88	3,10	0,38	0,10
Апрель	1874,62	570,76	66,30	18,60
Май	767,20	1600,38	27,14	52,13
Июнь	48,04	776,73	1,70	25,30
Июль	25,66	36,43	0,90	1,19
Август	47,17	17,10	1,67	0,56
Сентябрь	16,32	9,74	0,58	0,32
Октябрь	17,36	27,21	0,61	0,89
Ноябрь	8,89	16,32	0,31	0,53
Декабрь	3,88	4,32	0,14	0,14
Итого	2827,88	3069,85	100	100

В течение половодья проходило около 95% годового расхода взвешенных наносов, причем по наблюдениям мутность воды в период весеннего половодья была 0,013‰, а в период весеннего ледохода—0,049‰, т. е. в 3,5 раза больше.

Количество взвешенных наносов, проносимых рекой в зимний период (с ноября по март включительно) в 1928 г. как это видно из табл. 1, выразилось всего 1,01‰, причем в ноябре было 0,53‰, а в декабре—марте 0,48‰. В межень взвешенные расходы составили лишь 3‰ от всего годового количества.

Что касается распределения расходов взвешенных наносов между руслом и долиной разлива высоких вод, то наблюдений здесь мы имеем очень мало. Наблюдения, произведенные в 1928 г. на Дону, показывают, что существенной разницы между процентным содержанием взвешенных наносов на пойме и в русле нет (инж. Б. В. Поляков. Гидрология бассейна Дона), хотя скорости течения на пойме несколько меньше. Вероятно, это объясняется, с одной стороны, тем, что высохшая и растрескавшаяся в течение лета и зимы пойма является богатым источником для взвешенных наносов, наносов, которые, вследствие меньших скоростей течения, большее время и задерживаются на ней, прежде чем попасть в область руслового течения, а с другой стороны, и тем, что наносы из оврагов, балок и ручьев прежде чем попасть в русло попадают на пойму.

Подобное распределение взвешенных наносов по пойме и в русле за отсутствием наблюдений нельзя принимать как общее для всех рек. Что касается распределения взвешенных наносов по ширине меженного русла, то оно также требует более подробных и систематических исследований, пока же можно говорить только о большой неравномерности и частой изменчивости этого распределения.

В отношении распределения взвешенных наносов по живым сечениям в вертикальном направлении наблюдений также пока еще недостаточно. Можно лишь установить, что наименьшее количество взвешенных наносов находится главным образом у поверхности, а наибольшее — в области придонных слоев, возрастающей от поверхности ко дну русла.

Сравнение последовательно по течению реки расположенных живых сечений реки (Волги) с распределением в них взвешенных наносов, произведенное по большому числу наблюдений волжской гидрологической станцией под руководством инж. Н. Н. Жуковского, привело исследователей

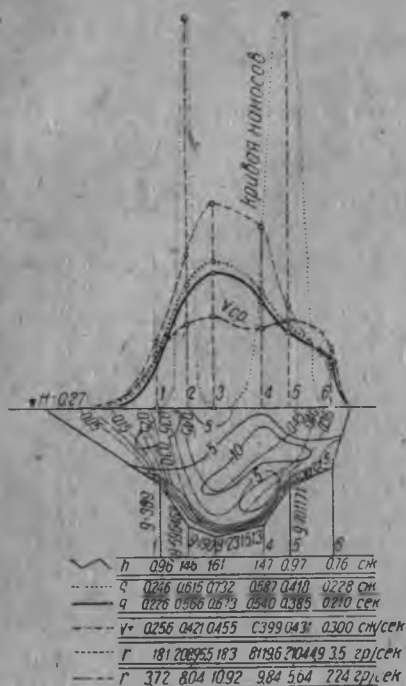


Рис. 45.

к установлению жильного распределения наносов в русле, что подтвердилось наблюдениями и на других реках и каналах, а также и при лабораторных исследованиях (инж. А. И. Лосиевский). Жильное движение состоит в том, что образовавшееся в какой-либо точке дна смоченного русла сравнительно крупное отложение наносов, размываясь течением, перемещается вдоль реки в виде различной мощности жил. Жилы эти, располагаясь по винтообразной траектории, вскоре отрываются от дна, приближаясь в дальнейшем движении опять ко дну или совершенно рассыпаясь в жидком потоке. В живом сечении может быть несколько самостоятельных жил. Какой длины могут достигать эти жилы, пока установить еще за отсутствием, надлежаще проверенных данных нельзя, но во всяком случае эта длина может быть при соответствующих гидравлических условиях до 2—3 км.

На рис. 45 показан поперечный профиль седловины Поднов-

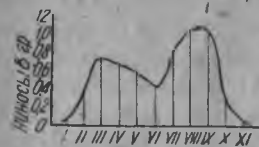


Рис. 46.

ского переката, снятый при работах Волжской инженерно-гидрологической станции. Это типичный профиль плесового участка реки (взят из книги „Лабораторные исследования процессов образования перекатов“ инж. А. И. Лосиевского). На нем кривая элементарных расходов взвешенных наносов имеет два резких выступа, соответствующих двум жилам наносов. Подобного характера кривая, также с двумя выступами, но значительно смягченная, была получена (рис. 46) и при лабораторных исследованиях.

Заканчивая изложение сведений о наносах в пределах, которые могут представить для нас интерес в дальнейшем, укажем, что общее количество взвешенных наносов, выносимых каждой рекой ежегодно в водоем, куда она впадает, весьма значительно. Так, Волга ежегодно выносит около 11 млн. *т*, Дон — около 4 млн. *т*, Рейн — немногим больше, Дунай — около 82,06 млн. *т*, Аму-Дарья — до 570 млн. *т* и т. д.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ РЕЧНОГО ПОТОКА И ДЕФОРМАЦИЯМИ ЕГО РУСЛА

§ 14. Взвешивание наносов потоком. Донные наносы. Закон Эри. Донные течения

Рельеф речного русла и его формирование находятся в тесной и неразрывной связи с размывом грунтов, по которым русло пролагает свой путь, и перемещением в пределах русла как продуктов размыва, так и наносов, поступающих в русло с водосборного бассейна. Эта работа производится течением вод, заполняющих русло. Если бы не было течения, не было бы размывов ложа реки и берегов, не было бы и транспортировки наносов с одного места русла на другое. Поэтому движение речных вод, течение, является основным процессом в формировании русла, размывы же и перемещение наносов — это процессы, создающиеся в результате действия течения.

Все остальные факторы, влияющие на формирование русла реки, являются в большей или меньшей мере факторами второго порядка, помогающими или препятствующими успешному формированию. В части теоретической разработки основ гидромеханики поверхностного стока в конце прошлого века работами главным образом Рейнольдса была выдвинута гипотеза так называемого турбулентного движения потока в противовес существовавшей теории ламинарного (или параллельноструйного) движения, на основании которой строились исследования и выводы гидравликов XVIII и первой половины XIX столетий.

На основании целого ряда дальнейших работ и исследований в настоящее время можно считать установленным, что ламинарное движение может быть в естественных потоках таких малых линейных размеров и при таких незначительных скоростях течения, которые присущи лишь движению подземных (грунтовых) вод. Что же касается поверхностного стока, то в ручьях и реках ламинарное движение может быть только в граничных слоях, т. е. в непосредственной близости ко дну и стенкам (откосам) русла, в очень тонком слое воды, смачивающем поверхность дна и береговых откосов, скорость движения частиц воды ничтожна. Далее, за пределами этого слоя идет уже турбулентное движение потока.

Отличительными свойствами ламинарного движения являются: 1) зависимость его от вязкости жидкости, 2) преобладающее

направление скоростей частиц потока, сравнительно близкое к параллельному с основным движением всей массы потока при ничтожной пульсации скоростей по сравнению с поступательными скоростями (это позволяет во многих случаях анализа пренебрегать поперечными скоростями), 3) нулевая скорость движения у стенок русла и 4) сопротивление движению, пропорциональное первой степени скорости.

Турбулентное движение, наоборот: 1) в очень малой степени зависит от вязкости жидкости, 2) отличается значительно пульсирующим направлением скоростей частиц воды, имеющим наклон под углами переменных знаков к основному направлению массы потока, 3) скорость вблизи от стенок русла не нуль, а имеет конечные размеры, и 4) сопротивление движению пропорционально второй степени скорости.

Пульсация скоростей, присущая турбулентному движению и отмечаемая непосредственными измерениями вертушками, является следствием изменения направления скорости. Она указывает на присутствие кроме непрерывно пульсирующей по величине и направлению горизонтальной составляющей скорости в измеряемой точке еще поперечной составляющей, направляющейся то вверх, то вниз. Эти составляющие скорости вызывают в потоке образование восходящих и нисходящих течений, меняющих свое направление. Частицы наносов под воздействием этих токов то поднимаются вверх, то опускаются, одновременно имея и поступательное движение, следуя в общем по некоторой зигзагообразной траектории.

Рассмотрим падение любой шарообразной частицы наносов в спокойной воде. Если средний диаметр этой частицы d и удельный ее вес δ , то вес ее $(\delta - 1) \frac{\pi d^3}{6}$. При падении в воду частица встретит сопротивление в трении поверхности о воду, причем сила сопротивления будет $K\pi d^3 \phi^n$, где K и π , коэффициент и показатель, зависят от формы тела и вида поверхности, ϕ — скорость равномерного падения тела при равновесии сил веса и трения. Эту скорость называют гидравлическим размером (величину его принято определять при 15°C , так как скорость падения частицы зависит от вязкости жидкости, меняющейся при изменении температуры).

Уравнение равновесия сил веса и трения получится в таком виде:

$$\frac{\pi d^3}{6} (\delta - 1) = K\pi d^3 \phi^n,$$

откуда, обозначая $6K$ через β , получим:

$$\phi^n = \frac{d(\delta - 1)}{\beta},$$

т. е. величину гидравлического размера данной частицы наносов, причем δ можно считать от 1,85 до 2,40.

По опытам проф. Крея (Шарлотенбург, Германия), если d менее 0,15—0,20 см, то $d(\delta - 1) = 0,007 \phi^{1,2}$, а если d более 0,20 см, то $d(\delta - 1) = 0,00064 \phi^2$.

Обращаясь к взвешенному состоянию наносов, надо заметить следующее. Перемещение взвешенных наносов происходит вследствие поступательного движения потока, причем можно считать, что частицы наносов перемещаются с такой же скоростью, как и скорость движения тех струй, в которых они находятся. Имеющаяся в каждой точке турбулентного потока поперечная слагающая скорости постоянно меняет свое положение, направляясь то вверх, то вниз. Можно предполагать, что изменение величины этой поперечной слагающей скорости протекает непрерывно, переходя от положительного максимального к минимальному отрицательному.

Если вертикальная составляющая v по величине больше или равна гидравлической скорости (размеру) ϕ частицы ($v \geq \phi$), то частица наносов будет находиться во взвешенном состоянии.

Если скорость v будет меньше ϕ , то частица будет падать.

У поверхности наибольшее значение v меньше, поэтому в общем случае гидравлический размер частиц будет уменьшаться с увеличением ее высоты над дном, так что более тяжелые частицы наносов будут ближе ко дну. Так как величина вертикальной слагающей изменяется, то очевидно песчинка будет перемещаться по зигзагообразной траектории.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет значение вертикальной слагающей у дна, как наиболее влияющей на деформацию последнего. Проф. В. Г. Глушков определяет ее величину от $1/13$ до $1/30$ нормальной скорости течения.

Величина скорости течения, при которой начинают двигаться различные наносы, указывается многими исследователями; все эти данные можно считать лишь приблизительными, так как при определении их многие факторы, влияющие на изменение величины скорости течения, не учитывались.

Так например, по Дюбуа (табл. 2) различные наносы начинают перемещаться при скоростях:

Таблица 2

Н а н о с ы	Донные скорости м/сек, при которых начинается передвижение
Мелкий песок	0,16
Крупный песок	0,21
Гравий или галька с горошину	0,31
Гравий средней величины	0,65
Галька, окатанная диаметром около и больше 2,5 см	0,98

По Гибсону камни с куриное яйцо начинают передвигаться при поверхностной скорости 2,27 м и т. п.

Рассмотрим теперь влечение по дну.

Предположим, что на дне реки свободно лежит частица наносов, песчинка в виде кубика со стороной a . Обозначим донную скорость через u . Сила, под действием которой песчинка будет двигаться (мы предполагаем турбулентное состояние потока), пропорциональна поверхности давления и квадрату скорости течения, т. е. $p = \varphi a^2 u^2$, где φ — коэффициент, зависящий от формы песчинки.

Песчинка может двигаться или вращаясь около своего ребра или скользя по дну. При вращении, принимая, что сила p приложена на расстоянии $\frac{a}{2}$ от дна, получаем вращающий момент:

$$m_0 = \frac{pa}{2} = \varphi \frac{u^2 a^3}{2}.$$

Если вес песчинки g и γ — удельный ее вес, то момент устойчивости

$$m_c = \frac{ga}{2} = \frac{(\gamma - 1) a^4}{2}.$$

Вращение начнется при $m_0 = m_c$ или при

$$\frac{\varphi u^2 a^3}{2} = \frac{(\gamma - 1) a^4}{2},$$

откуда

$$a = \frac{\varphi}{\gamma - 1} u^2,$$

или, обозначая

$$\frac{\varphi}{\gamma - 1} = n_1,$$

имеем

$$a = n_1 u^2.$$

Точно так же для движения скольжением получим:

$$a = n_2 u^2,$$

т. е. линейные размеры песчинки пропорциональны квадрату донной скорости, приводящей песчинку в движение, или, что то же самое (вес тела пропорционален третьей степени его линейного размера), веса передвигающихся по дну при различных скоростях течения частиц соответственно пропорциональны шестой степени этих скоростей:

$$(\gamma - 1) a^3 = n u^6.$$

Это так называемый закон Эри, который можно еще выразить в виде

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{u_1^6}{u_2^6},$$

т. е. веса перемещаемых по дну частиц пропорциональны шестой степени скоростей.

Закон Эри достаточно хорошо объясняет многие явления размыва и передвижения наносов. Если скорости потоков равнинного и горного характера примем, например, в отношении 1:4, то веса перемещаемых частиц будут находиться в отношении 1:4⁶ или 1:4096, так что становится понятным перемещение равнинной рекой песчаных наносов, а горной — больших камней в несколько килограммов, даже при небольшой сравнительно разнице в скорости их течения.

Один из крупных французских исследователей явлений механизма речного русла Дю-Бои (Du Boys. Action exercée par les eaux sur un lit au fond de gravier indéfiniment affouillable. Ann. des Ponts et Chaussées 1879, 2 sem.) первый ввел понятие о влекущей силе, разумея под ней способность потока перемещать наносы. Эту способность Дю-Бои назвал „силой влечения“ и выразил ее аналитически следующим образом.

Выделив в правильном и однообразном потоке с глубиной H и падением на 1 пог. м равным i призму воды высотой H с основанием равным кв. метру на дне потока, он допустил, что дно не представляет сопротивления течению воды и определил ускорение движения рассматриваемой призмы воды при уклоне русла i . Если m — масса воды имеет скорость v , то за короткий период времени dt — приращение живой силы массы воды будет $mvdv = mgi v dt$.

При однообразном состоянии потока все приращение живой силы будет поглощено работой сопротивления. Эта работа поэтому может быть выражена через $mgi v dt$, а следовательно сила сопротивления будет равна mgi (т. е. работе $mgi v dt$, деленной на пройденный путь $v dt$), сила же, приложенная ко всей жидкой массе M , будет равна Mgi . Сила Mgi — это сопротивление дна; она вызывает равное себе и противоположное противодействие, которое Дю-Бои и называл силой влечения F , так что

$$F = Mgi.$$

Принимая плотность воды, равной единице, и выражая вес массы M в килограммах, получим:

$$M = \frac{1000H}{g},$$

почему

$$F = 1000 Hi \text{ кг/м}^3.$$

Теорию Дю-Бои развил позднее Крейтер (Kreuter, Германия) в применении ее к расчетам выправительных работ, причем влечение наносов по дну он предполагает слоями, слой по слою, с уменьшающейся по глубине до некоторых ее пределов скоростью.

Никаких доказательств, подтверждающих существование прямой пропорциональности между величиной Hi и воздействием потока на русло, ни Дю-Бои, ни Крейтер не приводят.

Обстоятельные исследования, произведенные проф. Энгельсом в Дрезденской лаборатории (H. Engels. Versuche über den Reibungswiderstand zwischen strömenden Wasser und Bettsohle. 1912), показали, что выражение $F = 1000 Hi$ правильно для силы течения, действующей на вертикальную плоскость лежащих на дне частиц наносов (при лабораторных опытах — шариков), но неправильно для силы, действующей на горизонтальную плоскость дна. Проф. Энгельс отказался признать за „влекущей силой“ какой-либо физический смысл (H. Engels. Handbuch der Wasserbau).

Работа, которая поглощает приращение живой силы течения, идет на преодоление не только силы S сопротивления русла, но и той же силы W сопротивления, которое создается внутренними вихреобразными течениями в потоке. При однообразном равномерном течении

$$S + W = \gamma Hi,$$

где γ — удельный вес воды, откуда

$$W = \gamma Hi - S.$$

Таким образом сила действия течения на русло увеличивается при уменьшении внутренних сопротивлений, и при $W = 0$ получаем:

$$S_{\max} = \gamma Hi;$$

так как и S и W одного знака и W [не равно нулю, то [надо допустить, что вообще

$$S = \alpha \gamma Hi \text{ кг/м}^2,$$

где коэффициент α всегда меньше единицы.

На основании своих исследований Энгельс пришел к следующим выводам:

1. Сила смыва приблизительно пропорциональна квадрату средней скорости течения.
2. Сила смыва увеличивается с увеличением пористости русла.
3. Коэффициент α в выражении $S = \alpha \gamma iH$ всегда меньше единицы и увеличивается с уменьшением глубины.
4. Коэффициент α для одного и того же русла является величиной переменной, а потому сила смыва S не пропорциональна произведению численной величины H и i .

Таким образом, если сила смыва больше сопротивления грунта, покрывающего речное русло, то частицы этого грунта начинают срываться с своих мест и перемещаться в общем вниз по течению. Смыв частиц приводит к углублению русла, размыву, а увеличение глубины сопровождается уменьшением уклона i и коэффициента α . Размыв прекращается при насту-

плении равновесия между силой смыва и сопротивлением грунта ложа реки этому смыву.

Если сила смыва меньше сопротивления грунта, то размыва русла не происходит, а поступающие сверху по течению донные наносы будут задерживаться, дно реки начнет наращиваться и глубина будет уменьшаться. Уменьшение глубины сопровождается увеличением уклона i и коэффициента α и продолжается опять до наступления равновесия между силой смыва и сопротивлением грунта.

Лабораторные опыты в криволинейной лотке, производившиеся проф. Энгельсом и проф. Миловичем (А. Я. Милович.

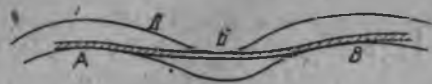


Рис. 47.

Нерабочий изгиб потока. Бюллетень политехнического о-ва. Москва. 1914), показали существование в потоке донных течений, размывающих вогнутые берега и переносящих продукты размыва на противоположные выпуклым берегам. Это подтверждается и

наблюдениями на реках.

Лабораторные опыты Энгельса, а затем Лавалля показали, что продукты размыва вогнутого берега ГД (рис. 47) одновременно переносятся донными течениями не только к противоположному выпуклому берегу А, но частью откладываются сейчас же ниже размываемого вогнутого берега у В (рис. 47).



Рис. 48.



Рис. 49.

Так, донными течениями размываются вогнутые берега и наращиваются выпуклые на криволинейных участках рек и таким же порядком на прямолинейных участках создаются вогнутые и выпуклые берега.

Перемещаясь от вогнутого берега к противоположному и нижележащему выпуклому берегу, наносы откладываются в русле и по линии перехода (рис. 47, А — В), создавая косо направленное к течению повышение дна русла, т. е. образуя между двумя глубокими русловыми ложбинами у вогнутых берегов более мелкий перевал с более крупным поверхностным уклоном, чем уклон ложбин (или плесов, как их называют).

Рассматривая движение потока в извилине русла, проф. Энгельс приходит к заключению о существовании внутренних течений на основании следующих соображений. У вогнутых берегов развивается центробежная сила течения, вызывающая образование от вогнутого берега к выпуклому поперечного уклона, пропорционального, как мы уже знаем, квадрату скорости течения. Так как

скорости у дна меньше, чем в верхних слоях потока, то придонные слои испытывают значительно большее давление, чем то, которое необходимо для уравнивания центробежной силы. Вследствие этого частицы воды придонных слоев у вогнутого берега получают поперечное движение к выпуклому берегу, причем движение их начинается от верхних слоев, идет по вогнутому откосу от верхних слоев к нижним и затем направляется к выпуклому берегу, поднимаясь по нему в верхние слои. В то же время для восстановления у вогнутого берега подпора, необходимого для уравнивания центробежной силы, частицы воды верхних слоев выпуклого берега направляются в сторону вогнутого берега. В результате создаются поперечные внутренние течения (рис. 48), которые, под влиянием общего течения потока, совершаются по спиралеобразной траектории. Подобного рода поперечные течения и производят размыв вогнутых берегов и ложа реки около них постепенно, слоями (рис. 49, 1—5), откладывая продукты размыва у противоположного и нижележащего выпуклых берегов.

§ 15. Внутренние течения в реках

Германский инженер Макс Меллер (M. Möller), производя исследования на рр. Руре и Везере¹, на основании наблюдений над движением поверхностных и глубинных поплавков, а также над движением различных плавающих в реке тел, пришел к выводу, что в поверхностных слоях существуют сходящиеся к стрежню течения. Вследствие этого у стрежня происходит накопление воды, уравнивающееся нисходящим движением частиц воды ко дну, у которого они направляются от стрежня к берегам и поднимаются по откосам берегов к поверхности, чтобы снова направиться к стрежню. Таким образом в реке получается два спиралеобразных тока (рис. 50) воды, подвергающихся ряду возмущений и нарушений правильности под влиянием местных водоворотов с горизонтальными и вертикальными осями. Схема внутренних течений Меллера по своему характеру требует симметричного правильного русла.



Рис. 50.

В 1893 г. русский инженер Лелявский („О речных течениях и формировании речного русла“. Доклад II съезду инженеров-гидротехников. СПб. 1893) опубликовал свою теорию формирования русла рек, произведя наблюдения над направлением речных струй при помощи специально им построенного „подводного флюгера“, указывающего (приблизительно) величину и направление равнодействующей скоростей в исследуемой точке.

Инж. Лелявский на основании многочисленных наблюдений установил наличие в реках двух типов внутренних течений:

¹ Die Wasserbaulaboratorien Europas. Berlin, 1926.

1) верхового, сбойного, сходящегося течения и 2) донного, расходящегося, веерообразного.

Сбойное движение, направляясь в поверхностных слоях потока от берегов к стрежню, по косому к нему направлению, опускается у стрежня в придонный слой и, обратившись в донное, идет далее, постепенно отклоняясь почти нормально к берегам и поднимаясь затем в поверхностные слои, чтобы затем снова направиться к стрежню.

Сбойное течение, опускаясь в придонный слой и проходя над дном, размывает в последнем продольные углубления и „по своему действию может быть уподоблено плугу, прорезывающему в дне продольную борозду и отворачивающему на сторону взрывае́мый грунт“. „Действием донного течения, — говорит далее Лелявский, — грунт, вырытый на фарватере и размывтый из вогнутого берега, складывается на пологие отмели и по ним катится, перебрасываемый зигзагами в косых направлениях“.

Мы видим, что и лабораторные исследования и наблюдения в природе с несомненностью устанавливают существование в реках внутренних течений, в соответствии с которыми река и деформирует свое ложе, причем каждый исследователь по своему объясняет направление этих течений и связь их с режимом потока.

Чем же вызывается возникновение этих течений?

Повидимому, как это и отмечается в позднейших лабораторных исследованиях быта перекатов (А. И. Лосиевский. Лабораторное исследование процессов образования перекатов. Ленинград, 1934), внутренние течения в потоке являются одним из результатов нарушения равенства условий движения в живых его сечениях, т. е. в ограничивающих поток поверхностях.

Масса воды, заполняющая русло, встречает наибольшее сопротивление, несомненно, со стороны смачиваемого периметра русла, т. е. у дна и береговых откосов, и несравненно меньшее по поверхности, по линии зеркала, соприкасающегося только с воздухом. Такое неравномерное распределение сопротивлений по периметру всего живого сечения очевидно нарушает равенство условий движения и работы отдельных частей живого сечения, и в этом отношении поток получает определенно несимметричный характер. Эта неравномерность затраты в отдельных частях живых сечений потока кинетической и потенциальной (давление) энергии заставляет поток стремиться к восстановлению равновесия условий движения и вызывает появление внутренних течений.

Подробные исследования, произведенные под руководством инж. А. И. Лосиевского в лаборатории московского отделения ЦНИВТ над процессами образования перекатов, значительно, хотя далеко еще не полно, уясняют характер и значение внутренних течений.

Характеризуя типы этих течений по виду их на дне, представляется возможным установить два основных типа: I — тече-

ния, расходящиеся от середины потока к берегам, и II — течения сходящиеся от берегов к середине потока.

Превращение одного типа течения в другой обуславливается скоростью и глубиной. При одной и той же скорости, но с изменением глубины I тип может перейти во II или обратно. Точно так же при постоянной глубине один тип течения может перейти в другой при соответствующем изменении скорости. Подобные переходы совершаются не сразу, а с известной постепенностью, через промежуточные формы, которые названы А. И. Лосиевским течением „смешанного“ типа или просто смешанным.

Лабораторные исследования показали, что переход от течений I типа к смешанному сопровождается изменением самой структуры потока, что, понятно, должно непосредственно отзываться и на формировании ложа потока.

Если дно русла имеет поперечный уклон, то у одного из берегов обычно создаются такие глубины и скорости течения, которые отвечают течениям I типа, тогда как у другого берега получаются условия, соответствующие течениям II типа. В совокупности, в связи с общими условиями потока, донные течения соединяются в одно цельное комбинированное поперечное донное течение, направляющееся к мелкому берегу. }

Переход типовых течений к комбинированному может произойти в зависимости от местных условий и через промежуточные особые формы. В промежуточных формах, понятно, цельности течения в поперечном направлении, характеризующей комбинированный тип, не будет.

Массы воды, перемещаемые тем или иным донным течением от середины потока к берегам или же от берегов к середине, а в комбинированном типе от одного берега к другому, не могут вследствие непрерывности движения потока задерживаться в пунктах, к которым они направляются. Они продолжают двигаться течением своего типа, но уже переходящим из донных областей потока в поверхностные, причем, поднявшись в поверхностные слои, меняют свое направление на обратное. Поэтому течения, например, I типа, направляясь в донных слоях от середины к берегам, достигнув берега, поднимаются около него, у откоса, в поверхностные слои и направляются по ним под углом к оси потока к середине последнего, чтобы здесь снова опуститься на дно и опять по донным слоям направиться к берегу.

Таким образом в результате непрерывного поступательного движения потока от истоков к устью в потоке создаются непрерывные внутренние винтообразные течения различных типов.

Относя эти течения примерно к одной и той же средней скорости движения и учитывая, что в массе потока имеются с такими течениями обособленные области, мы получим следующие общие схемы течений.

Внутреннее течение I типа направляется в донных слоях косо к оси потока от середины к берегам, где поднимается в поверх-

ностные слои потока и в них опять же косо к оси потока, с наклоном вниз по течению, идет к середине потока. Здесь оно опускается ко дну и снова направляется по донным слоям к берегам. Это тип широкого плоского русла, в котором глубина мала по сравнению с шириной, что почти совершенно исключает влияние берегов на характер течения (рис. 51, I).

Внутреннее течение II типа совершает свой путь в направлении обратном течению I типа (рис. 51, II). Это уже сравнительно глубокое русло со значительно меньшим отношением глубины к ширине, так что берега уже оказывают заметное влияние на характер движения потока.

Комбинированное внутреннее течение (рис. 51, III) направляется в донных областях от глубокого берега к мелкому. Здесь оно поднимается в поверхностные слои и идет далее косо к оси потока к глубокому берегу, где опускается ко дну, чтобы снова направиться в донных слоях к мелкому берегу. Русло — несимметричное, с резко различным воздействием каждого из берегов на характер движения воды.

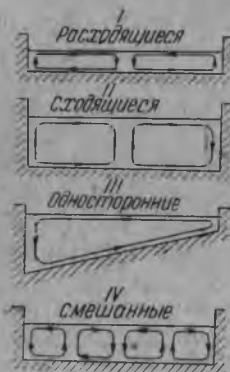


Рис. 51.

Наконец смешанное внутреннее течение (рис. 51, IV), как переходное от одного основного типа к другому, может быть характеризовано расходящимися (в донных слоях) течениями (I тип) по середине и направленными от берегов к середине потока в прибрежных областях (II тип).

Изображенные схемы течений отнесены к одной и той же средней скорости в прямолинейном потоке. Течения эти не имеют, конечно, в реках такой правильной, резко выраженной формы. Траектории движения частиц воды, сохраняя в общем в каждом типе течений указанный выше винтообразный характер, имеют ряд отклонений то вверх, то вниз, то в стороны от своего правильного положения, в зависимости главным образом от изменчивости гидравлических условий потока и в меньшей степени от рельефа русла.

Как уже упоминалось выше, в массе потока, в каждом его живом сечении, наблюдается, в общем, ряд обособленных областей внутренних течений, отделяющихся одна от другой течениями (рис. 51), располагающимися в вертикальной плоскости (поверхности). В зависимости от типа движения вертикальные течения будут или восходящими или нисходящими. Так, при внутренних течениях I типа вертикальные течения по середине потока будут нисходящими, при движении же II типа — восходящими; прибрежные вертикальные течения будут соответственно иметь обратное направление. В смешанном течении получится несколько раздельных поверхностей.

Вертикальные течения имеют большое значение в передвижении наносов, то увлекая их вверх, то способствуя их отложе-

нию на дно русла. Для определения характера вертикальных течений могут служить скорости течения, измеренные по вертикалям живых сечений исследуемого участка реки.

На основании достаточно точных лабораторных исследований инж. А. И. Лосиевский пришел к следующим выводам.

Течения I типа характеризуются вертикалями средней части живого сечения с правильным очертанием кривых распределения скоростей (рис. 52). Соответствующие этим вертикалям изотакхи снижаются в донной области (рис. 45), причем изотакха наибольшей скорости иногда бывает замкнутой.

Течение II типа характеризуется прибрежными вертикалями, наи-

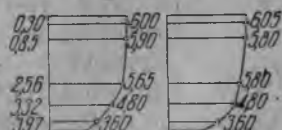


Рис. 52. Голографы течений I типа.

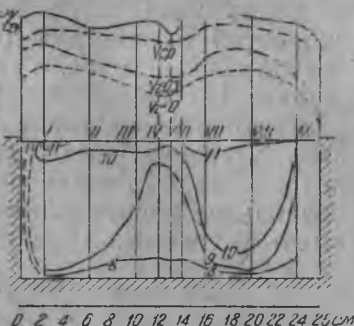


Рис. 53. Течения II типа.

большие скорости у которых располагаются на значительной глубине, а поверхностные несколько преуменьшены (рис. 53). Изотакхи в средней части живых сечений обычно круто изогнуты вверх, что характеризует область восходящих течений и уменьшенных донных скоростей, в соответствии с чем кривая донных скоростей всего живого сечения имеет здесь также изгиб ко дну.

При внутренних течениях смешанного типа, когда в живом сечении потока образуется несколько обособленных областей винтообразных течений и, стало быть, несколько поверхностей раздела их, поверхностные скорости на вертикалях (рис. 54) являются наибольшими, донные же скорости имеют небольшую величину. Изо-

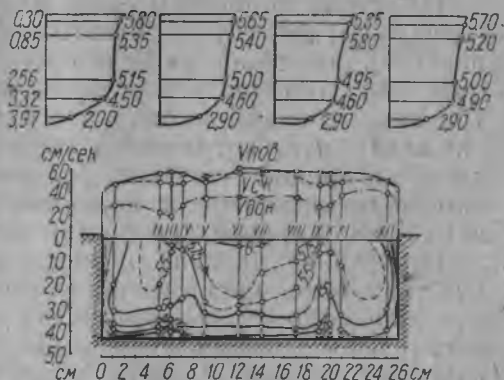


Рис. 54. Течения смешанного типа.

тахи, в части живого сечения, соответствующего этим вертикалям, резко изогнуты вверх, т. е. указывают на наличие восходящих течений и меньших донных скоростей. Кривая донных скоростей по всему живому сечению в области восхо-

дящих течений, т. е. в местах отдельных поверхностей, имеет изгибы ко дну.

Внутренние комбинированные течения (рис. 55), направляющиеся в придонных слоях от глубокого берега к мелкому, характеризуются кривой распределения придонных скоростей по всему живому сечению, получаемой по величинам донных скоростей на вертикалях. Скорости у мелкого берега значительно уменьшаются, и кривая скоростей в этой части снижается (кривая V_z).

Распространяя приведенные характеристики внутренних течений, установленные лабораторным путем, на естественные потоки, надо прежде всего отметить, что сравнительно более правильное распределение течений, напоминающее приведенные выше их схемы, мы можем встретить в реках лишь на более

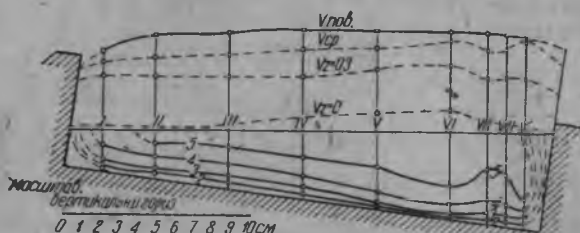


Рис. 55. Внутренние комбинированные течения.

правильно сложенных участках русел.

Так, внутренние течения I типа мы встречаем в широких корытообразных руслах, в которых величина отношения глубины к ширине русла незначительна, скорости течения

невелики, динамическая ось потока и наибольшая скорость течения располагаются ниже поверхности и изотакхи в середине потока имеют выгиб вниз, ко дну, и даже частично срезаются последним.

Примером подобного русла может служить участок р. Волги (несколько ниже г. Горького перед входом на Подновский пережат), имеющий характер плеса. На поперечном профиле¹ (рис. 45), достаточно в условиях естественных потоков симметричном, мы видим изотакхи, изогнутые по середине живого сечения вниз и частью срезанные дном. Это указывает на образование здесь нисходящих течений, расходящихся затем к берегам и по ним поднимающихся к поверхности. Мы видим здесь и выгиб вниз кривой средних скоростей по всему живому сечению.

Внутренние течения I типа, видимо, свойственны плесовым участкам реки, как имеющим сравнительно более симметрично и однообразно сложенное русло с погруженной ниже поверхности воды динамической осью. Эти течения весьма близко отвечают теории Меллера и подтверждаются также наблюдениями инж. Леелявского.

Внутренние течения II типа, направляющиеся в поверхностных слоях от стрежня к берегам, а в донных — от берегов к стрежню,

¹ Поперечные профили из работ инженерно-гидрологической станции на р. Волге взяты нами, как и рис. 54 и 55, из книги А. И. Лосиевского „Лабораторные исследования процессов образования пережатов“.

с нисходящими течениями у берегов и восходящими по середине русла могут существовать при условии достаточных для такого движения глубин и скоростей у берегов. Последнее наблюдается обычно при стояниях в реке высоких уровней, что подтверждается, например, живым сечением Волги (рис. 53) при входе на Чебоксарский перекат, снятым в половодье. Это также профиль плесового участка.

Глубина на этом профиле достигает 18,75 м, а скорости — 1,85 м/сек (на предыдущем соответственно 3,20 м и 1,0 м/сек). Изотахи в средней части круто поднимаются от дна к поверхности, разграничивая течение на две обособленные части, тогда как дно имеет слабую вогнутость в обратную сторону, так что рельеф дна на направление изотак никакого влияния не оказывает. Подъем изотак указывает на наличие в потоке раздельной области с восходящим течением. При понижении уровня до меженного стояния следует ожидать перехода внутренних течений к I типу, так как глубины и скорости значительно уменьшатся и создадут условия, подобные условиям живого сечения у входа на Подновский перекат.

§ 16. Влияние внутренних течений на рельеф русла

Как уже упоминалось, внутренние течения оказывают главное влияние на формирование русла. В зависимости от типа внутренних течений работа их по созданию рельефа русла происходит в различных направлениях.

При течениях I типа наносы, увлекаемые донными течениями (донные наносы), будут передвигаться от середины потока наискось к берегам. Так как скорости донных течений у берегов имеют сравнительно небольшую величину, то большая часть перемещаемых ими наносов будет оседать у берегов, а сравнительно меньшая часть, пополняемая смывом с берегов, будет переноситься восходящими у берегов течениями в верхние слои потока, где наносы в значительной части и будут распылаться по всей площади сечения. Оседающие (выпадающие) у берегов наносы, постепенно разрастаясь, стесняют живое сечение, что ведет к увеличению скоростей течения и усилению размыва нисходящими течениями средней части русла, т. е. к его углублению. Если мы возьмем то же живое сечение перед Подновским перекатом (рис. 45) с нанесенной на нем кривой элементарных расходов наносов, то увидим, что эта кривая состоит из двух пиков, отделенных один от другого соответственно наблюдаемым здесь двум жилам наносов. Такое распределение наносов свойственно течениям I типа и может служить также одной из характеристик последнего в дополнение к приведенным выше характерным расположениям изотак и кривых скоростей по всему сечению.

В течениях II типа донные наносы будут перемещаться от берегов к середине потока. Здесь, проходя в области

восходящих течений, в основании которой, как это видно из рис. 53, располагается район малых скоростей (изгиб изотак кверху), более крупные наносы будут выпадать на дно, а более мелкие — уноситься восходящими течениями в верхние слои потока. Источником наносов будут здесь берега и прилежащие к ним донные части русла, около которых образуются нисходящие течения. Отложение наносов в средней части потока, постепенно разрастаясь, может обратиться в подводный осередок и затем в остров.

При смешанном типе течений, являющимся переходным между I и II типами, движение донных наносов усложняется: наносы, перемещаемые от середины потока к берегам, будут встречать в плоскостях раздела внутренних течений поток донных наносов, направляющихся от берегов к середине. В местах встречи этих противоположных донных течений, переходящих из донных в восходящие, часть наносов будет выпадать на дно, а часть увлекаться восходящими течениями в вышележащие слои.

Таким образом при смешанном типе внутренних течений получаются в живом сечении две области отложения наносов, примерно в пределах двух средних четвертей площади живого сечения. Наносы будут здесь откладываться, образуя удлиненные подводные осередки, изобилующие застругами. При почти непрерывных изменениях уровня воды в реках, и нередко в значительных пределах, поток практически всегда бывает несимметричен, а типы течений меняются и области отложения донных наносов обычно располагаются несимметрично. Сплошь и рядом наносы, отложившись в русле вблизи от одного из берегов, соединяются местами с последним. Вследствие этого русло у другого берега начинает развиваться более энергично, к нему отклоняется динамическая ось, и постепенно получается искривление потока. При небольшой несимметричности потока может таким же порядком постепенно образоваться два острова и деление потока на три рукава.

Кривая элементарных расходов наносов при смешанном типе внутренних течений обычно имеет в средней части живых сечений два пика, т. е. два подъема кверху, расположенные рядом.

Наконец при комбинированном типе внутренних течений донные наносы перемещаются донными течениями от глубокого берега к мелкому, причем глубокий берег размывается нисходящими течениями, а противоположный мелкий — наращивается продуктами этого размыва. Наростание мелкого берега происходит обыкновенно довольно интенсивно, так как скорость донных течений у мелкого берега незначительна и большая часть наносов здесь выпадает (отлагается). В результате совместного действия нисходящих и донных течений, вызывающих размыв глубокого берега и наростание противоположного мелкого, глубокий берег получает в плане вогнутое очертание.

а мелкий — выпуклое. Русло перемещается к вогнутому берегу, около которого располагается и динамическая ось потока. Кривая элементарных расходов наносов при комбинированном типе внутренних течений имеет плавный подъем от глубокого к мелкому берегу, достигающий около последнего своего максимума.

Взвешенные наносы, находящиеся в рассматриваемом участке реки, состояются из наносов, поступающих транзитом во взвешенном состоянии из вышележащих участков реки и с поверхности бассейна, и из наносов, получающихся при размывах, вызываемых на данном участке нисходящими течениями. Последние наносы, по глубинным и скоростным условиям и по удельному весу самих наносов, могут частью находиться во взвешенном состоянии в течение всего времени перемещения по рассматриваемому участку, частью периодически переходя в положение донных наносов и частью все время передвигаясь по дну.

Таковы грубые схемы работы внутренних течений в реках по перемещению донных наносов и по соответствующему влиянию этих перемещений на изменение рельефа русла. В действительности, понятно, работа внутренних течений гораздо сложнее. Изменение высоты уровня воды в реке, изменения рельефа ложа реки вследствие работы внутренних течений, изменчивость скоростей течения и т. д., — все это влияет и на направление и на характер работы внутренних течений, сплошь и рядом вызывая и изменение самих типов течения, т. е. переход одного типа в другой.

Наиболее насыщены наносами будут восходящие течения, богатые взвешенными наносами в верхних слоях потока и увлекающие сравнительно более легкие части донных наносов, перемещаемых донными течениями к областям восходящих течений. В то же время в придонных слоях около восходящих течений в области пониженных донных скоростей будут оседать более тяжелые наносы, которых не в состоянии увлечь восходящие течения.

Нисходящие течения, вызывая размыв берегов и дна русла, питают этими продуктами размыва донные течения, которые и переносят наносы к областям восходящих течений.

На каждый данный участок реки, как уже упоминалось, кроме наносов — продуктов размыва в пределах данного участка — поступают еще наносы с вышележащих участков реки, идущие транзитом. При определенной скорости течения поток может перемещать только определенный объем наносов. При перенасыщении наносы начнут отлагаться, и размывы русла прекратятся. Очевидно, размывы на всяком участке реки будут возможны только в том случае, если их продукты будут непрерывно удаляться с мест размыва, открывая таким образом течению новые слои грунта, слагающего русло реки. Эту работу по удалению наносов в стороны от мест размыва и выполняют

поперечные донные течения. Поэтому, если поток обладает скоростью течения, достаточной для размыва грунта русла, то это еще не обеспечивает осуществления размыва; необходимо, чтобы были и поперечные донные течения для удаления продуктов размыва в стороны. Таким образом для улучшения переката необходимо обеспечить не только размыв мели, но и транспорт продуктов размыва.

Более устойчивое углубление русла при лучшем его расположении в плане получается при течениях I типа и комбинированном. При течениях I типа происходят размыв средней части русла и удаление продуктов размыва к берегам. Это наиболее удобно для расположения судового хода. При комбинированном течении русло углубляется около одного берега (вогнутого) и продукты размыва переносятся к противоположному берегу (выпуклому). Судовой ход при этом располагается у вогнутого берега, что иногда сопровождается крупными для судов неудобствами (например, сильное прижимное течение может наносить суда на берег).

При II типе течений отложения наносов происходят в средней части русла, а при смешанных течениях эти отложения образуют в средней части русла две области, что, конечно, значительно хуже в отношении создания судового хода, чем при течениях I типа и комбинированном.

Переход от одного типа течений к другому сопровождается изменением в направлении донных течений. Так, при переходе от I типа к II или смешанному донные течения, направляющиеся в I типе от середины потока к берегу, должны изменить около берегов свое направление на обратное; при переходе от того же I типа к комбинированному — течения из двухсторонних обращаются в односторонние и т. д. Точно установить условия, при которых совершаются такие переходы, пока нет данных, но для приблизительной качественной оценки потока в отношении характера внутренних течений инж. Лосневский дает уравнение

$$(U + 0,025 H_m^{0,5}) H = 0,025 H_m^{1,5},$$

которое определяет момент перехода потока от течений комбинированного типа к течениям смешанным. Здесь U — средняя скорость, H — глубина и H_m — наибольшая глубина.

Для естественных потоков средней величины, при наибольших возможных для них глубинах $H_m = 16$ м, уравнение получает вид:

$$(U + 0,1) H = 1,6 \text{ (в метрах)}^1.$$

Это уравнение, позволяя оценить характер возможного процесса формирования рельефа берегов и дна на данном участке

¹ Инж. Лосневский рекомендует брать скорости лучше вблизи берегов.

реки при существующих соотношениях средней скорости¹ и глубины, показывает, что если мы имеем устойчивые донные течения I или комбинированного типа, т. е. имеем участок плеса, то такое положение может быть только при определенных предельных соотношениях между глубиной H и скоростью U . При глубине, например, в 2,0 м скорость U не может быть больше 0,7 м/сек, при глубине в 5 м она не должна быть более 0,22 м/сек, при глубине в 6 м скорость не должна быть более 0,17 м/сек и т. д. Если скорости течения при тех же глубинах будут больше, то I тип внутренних течений изменится и обратится во II или смешанный, что будет сопровождаться и иным размещением отложений наносов.

В периоды половодья и более значительных паводков скорости течения на наших средних и крупных реках достигают величин, превышающих полученные выше, при соответствующих глубинах, предельные скорости течений I типа. Поэтому с большой степенью вероятности мы можем считать, что в половодье и при более значительных паводках на реках образуются всегда внутренние течения II или смешанного типа. При таких течениях в периоды высоких вод должны иметь место более сложные переформирования русла, как-то: более интенсивный размыв берегов, отложения наносов по середине русла в нескольких его областях, засорение мелями рукавов, образование осередков и т. п. Это и подтверждается в природе, так как наибольшее переформирование русла происходит именно в периоды прохождения высоких уровней.

При спаде воды и постепенном снижении величины скоростей течения и глубины начинается переход внутренних течений от II или смешанного типа к I или комбинированному. Наносы, отложившиеся в русле, размываются нисходящими течениями, переносятся к берегам, и река начинает формировать меженное русло. Если скорости течения снижаются скорее, чем глубины, то быстрее наступают и условия, благоприятные для образования течения I или комбинированного типа. Осевшие же при высоких водах по середине русла мели размываются и переносятся к берегам в течение более длительного периода. Русло очищается от наносов, осевших при высоких уровнях, более основательно, как это и подтверждается на реках, на которых при медленном спаде высоких вод перекаты значительно углубляются. Если скорости течения уменьшаются медленно и условия образования течений I или комбинированного типа не создаются, наносы продолжают перемещаться на середину русла и оседают там. При наступлении меженного периода русло оказывается еще загроможденным наносами, и перекаты приходится усиленно углублять. Такое явление мы почти всегда наблюдаем на наших реках при быстром спаде высоких вод.

¹ Для течений I типа $V < \frac{1,6}{H} - 0,1$ (м/сек),

II . $V > \frac{1,6}{H} - 0,1$ (м/сек).

Если неблагоприятные для разработки русла донные течения (II типа и смешанного) остаются вследствие местных условий и на меженный период, то перемещение наносов от берегов в среднюю часть русла будет происходить, очевидно, и при меженных уровнях.

Небольшие сравнительно величины скоростей, при которых только и могут образовываться благоприятные для разработки русла внутренние течения, показывают, что большое значение для наиболее выгодного в интересах судоходства формирования меженного русла имеет тип внутренних течений, а не величина скорости. Поэтому мнение, что для получения размыва отложений наносов прежде всего следует стремиться к увеличению скорости течения как к основной силе, следует признать ошибочным. Увеличение скорости, несомненно, во многих случаях полезно и необходимо, но до известного и сравнительно низкого предела. Превышение этого предела, наоборот, принесет только вред, так как вызовет появление внутренних течений нежелательного типа или будет их поддерживать.

Затем, ввиду того, что наиболее неблагоприятные для засорения русла наносами внутренние течения образуются при высоких уровнях рек, вполне целесообразно для устранения этого явления регулировать паводки, в особенности половодные, если, конечно, это представляется экономически выгодным.

Перемещая наносы в среднюю часть русла, внутренние течения II и смешанного типа откладывают их и на перевалах, вызывая изменение их рельефа.

Лабораторные исследования Лаваля показывают, что на модели извилистого русла с неразмываемым ложем песок переносится течением следующим образом. Введенный в русло (рис. 47) около точки *А*, он перемещался по направлению к *Б* и далее к *В*. Песок, введенный около точки *Г*, переносился к *А* и далее передвигался от *А* к *Б* и *В*. Песок же, введенный около точки *Д*, перемещался непосредственно к *Б*, где и присоединялся к потоку наносов, направлявшемуся к *В*. Таким образом такой поток наносов пересекает и перевал под некоторым к нему острым углом.

§ 17. Формирование перекатов

Перевал, на котором образуются внутренние течения, неблагоприятные для его углубления или поддержания в существующем состоянии, подвергается капитальному переформированию. Судходные качества его ухудшаются и он превращается в перекат.

Перекат, являясь сложной формой речного русла, представляет повторяющееся обычно из года в год в русле местное отложение наносов, распространяющееся по всему живому сечению реки. Глубина на перекате всегда бывает меньше, чем на прилежащих к нему участках реки. Это скопление наносов, возвышающееся над дном русла, получает название вала переката.

Каждый перекат (рис. 56) состоит из следующих основных частей: 1) верхней (считая по течению) и нижней плесовых ложбин, 2) верхнего и нижнего (или правого и левого по течению) побочней, 3) корыта переката и 4) подвалья.

Вал переката, соединяя обычно побочни, не представляет гладкой поверхности, а покрыт целым рядом разной величины и различного сложения заструг, отходящих от побочней и местных небольших возвышений и углублений, выражающихся на плане мелкими замкнутыми изобатами (рис. 57).



Рис. 56. Перекат.

Наиболее пониженная, глубокая часть вала получает название корыта переката. По нему располагается и судовой ход. Корыто переката проходит между застругами и, в зависимости от их размещения, может располагаться в плане или по положению, мало искривленному направлению или получает извилистое и весьма неудобное для судов расположение.



Рис. 57. Перекат.

Двигаясь по течению из верхней плесовой ложбины в нижнюю по корыту переката, мы будем идти по переднему или лобовому скату вала и постепенно встречать все меньшие и меньшие глубины, что указывает на постепенный подъем как самого вала переката, так и его корыта по направлению к подвалью. Наиболее высокая часть вала и корыта получает название гребня переката. Гребень отделяет лобовой скат от тылового или от подвалья. От гребня тыловой скат круто понижается, и глубины быстро на нем увеличиваются, вал переката как

бы обрывается и начинается быстро углубляющееся подвалье, которым и заканчивается перекат. Подвалье соединяется с нижней плесовой ложбиной.

Каждый год отдельные части переката обычно меняют свое положение или очертания как в плане, так и по высоте; глубина

на перекате также изменяется, но в целом перекат в большинстве случаев остается неизменным и отличается большой устойчивостью, что указывает на органическую связь переката с бытом реки.

Перечисленные выше составные элементы переката, являясь основными и обязательными для всех перекатов, могут иметь различные в каждом отдельном случае взаимное расположение, плановые очертания и рельеф.

Так например, плесовые глубокие ложбины могут заходить одна за другую (рис. 58,2) или не заходить (рис. 58,1). Это дало основание французскому инженеру-гидротехнику Жирардону разделить перекаты по этому признаку на два типа: плохой и хороший. К типу плохих перекатов он относит такие, в которых плесовые ложбины заходят одна за другую, а к хорошим — такие перекаты и перевалы, на которых переход из одной ложбины в другую идет по плавной кривой. Это, по признаку взаимного расположения ложин, — основные типы перекатов.

Общепринятой классификации перекатов пока еще нет (несколько предложений по этому поводу было, но в практику они не вошли), но



Рис. 58.



Рис. 59. Перекат с двумя подвальями.

судоводители иногда различают их по характеру подвалей (с раскосьем, под крутую косу и т. п.). Классификация эта не отличается четкостью, почему останавливаться на ней мы не будем.

Иногда перекаты имеют как бы два подвалья (рис. 59) и два гребня, причем второй гребень образуется выше первого (примерно в 50—60 м) отложением косы от верхнего побочня и крупной заструги от осередка или побочня противоположного берега. Такие подвалья недолговечны. Нижнее обыкновенно размывается и сливается с верхним. Типовым оно признано быть не может.

В огромном большинстве случаев перекаты будут располагаться в изгибе русла на переходе судового хода от одного берега к другому.

Однако делать из этого вывод, что перекат является одним из последствий изгиба русла или, что то же, заключить, что изгиб русла обуславливает образование переката, — будет неправильно.

Как мы видели, отложение наносов в русле вызывается действием внутренних течений, появляющихся вследствие нарушения в потоке симметрии в отношении условий движения. Как показывают опыты, такой симметрии нельзя получить и относительно берегов (даже в лабораторной обстановке): винтообразные течения вдоль берегов всегда получаются неодинаковыми. Очевидно, в условиях естественной реки тем менее возможности получить симметричный поток.

Постараемся проследить в самых общих чертах процесс образования переката. Мы имеем дело с существующими, уже сформировавшимися реками, с весьма сложными и мало еще выясненными условиями течения. Наблюдений над реками, которые могли бы достаточно детально осветить быт не только перекатов, но и самой реки, мы имеем очень мало. К тому же при огромной сложности бытовых условий рек 'одних наблюдений над самой рекой, даже самых подробных, было бы все-таки недостаточно. Поэтому приходится обращаться к помощи лабораторных исследований и, дополняя и сопоставляя их с имеющимися наблюдениями над реками, с большей или меньшей степенью вероятности уяснять картину образования переката.

Очень интересны и поучительны произведенные под руководством инж. А. И. Лосиевского лабораторные исследования и выводы из них, дополненные к тому же наблюдениями других исследователей.

Мы знаем на реках участки, имеющие двухсторонние изгибы в плане, причем на переходе от одного вогнутого берега к другому, противоположному, тоже вогнутому, перекатов нет. Имеется глубокий перевал.

Как мы видели выше, перевал, по сравнению с прилежащими к нему верхней и нижней ложбинами, имеет меньшую глубину и по продольному профилю представляет плоское возвышение дна русла, весьма полого соединяющееся с верхней и нижней ложбинами, так что подвалья не образуется. Как и на перекатах, перевал ограждается верхним и нижним наносными побочными, но побочки эти имеют более значительную высоту, более крутые, нерасползающиеся откосы, обычно без заструг или с очень небольшим их числом, в противоположность обильным застругам и побочкам на перекатах. Подобного типа перевалы обыкновенно устойчивы и после прохода паводков восстанавливают свои формы. Лабораторные исследования и наблюдения в натуре показывают, что внутренние течения на перевалах иные, чем на перекатах. На тыловом скате со стороны нижней ложбины на подобных перевалах при меженных и близких к ним уровнях образуются устойчивые, расходящиеся донные течения, поддерживающие постоянный размыв перевального хода с отложением продуктов размыва на побочных. Откладывающиеся при высоких уровнях наносы на подобных перевалах не аккумулируются и перевалов не портят. Это довольно устойчивые, так сказать, саморегулирующиеся участки русла, с хорошо обтекаемой фор-

мой дна. Лабораторные исследования показали, что если даже лобовой откос перевала с крутым подъемом, то тыловой скат будет с определенным пологим уклоном, обтекание остается благоприятным, и обязательного для перекатов подваля не образуется.

Лабораторные исследования далее показали, что подвалье перекатов формируется под действием внутренних течений. Образование этих внутренних течений предваряет процессы формирования подваля, намечая и определяя своим характером не только области наносных отложений, но и самые формы отложений. Образование подваля происходит в связи с формированием вала переката. Лабораторные опыты дают основание предполагать, что форма вала связана с образованием подваля, которое, как можно предполагать, появляется, если вал имеет плохо обтекаемую форму.

Возникновение вала переката, как это подтверждается не только лабораторными исследованиями, но и несколькими наблюдениями на небольших речках, может быть вызвано сравнительно небольшим местным отложением в русле наносов, приобретающим сначала форму заструги (косы с ломаными треуголь-

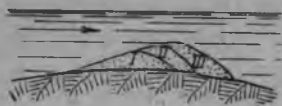


Рис. 60.

ными плановыми очертаниями, обыкновенно зубчатыми). Заструга эта постепенно разрастается по площади и в высоту и под влиянием несимметричности потока получает косое к направлению течения расположение. Это создает условия, благоприятные для образования донных течений, вызывающих углубление обеих ложбин и разрастание вала поперек всего русла. Начавшийся процесс образования переката постепенно усиливается, ускоряется и остановиться уже не может, так как условия для этого постепенно становятся все более и более благоприятными.

Наиболее часто начало формированию вала кладется, повидимому, образованием заструг от береговых побочней, которые, разрастаясь, соединяются и образуют вал.

В процессе своего формирования вал, при переливе через него течения и оседания наносов, постепенно увеличивается не только по площади, но и в высоту (рис. 60). При постепенном отложении наносов лобовой скат вала, частично размываясь, приобретает более пологий уклон. Тыловой откос, наоборот, имея в процессе формирования поступательное движение вниз по течению, получает значительно более крутой уклон и образует резко очерченное подвалье переката, соединяющееся с нижней плесовой ложбиной.

Нижняя ложбина, как это показывают исследования в лаборатории и в натуре, разрабатывается в русле внутренними течениями I типа, которые образуются сейчас же ниже подваля при благоприятных для этого скоростных и глубинных условиях. Присущие течениям I типа расходящиеся донные течения зна-

чительно углубляют русло, перемещая наносы (продукты размыва) к берегу и в сторону подваля, являющегося для низовой ложбины другим берегом (затопленным). Восходящие течения располагаются около берега и подваля.

Одновременно с восходящими течениями около подваля через вал переката, а стало-быть, и через подвалье, направляется сверху в нижнюю плесовую ложбину основная масса воды, состоящая из нескольких винтообразных потоков. Донные струи этой массы, влекущие донные наносы через вал переката, встречая восходящие течения у подваля, задерживаются последними. Так как их скорость меньше, то они отклоняются восходящими течениями вдоль подваля в сторону нижнего побочня. Вследствие этого донные наносы как поступающие на перекат транзитом, так и смываемые с лобового ската и вообще в пределах переката выше подваля в главной своей массе остаются в области подваля и лишь в незначительной части попадают в нижележащую часть реки. Аккумуляция донных наносов в этой области и объясняет устойчивость вала переката.

Направление поверхностных течений на перекате не совпадает с направлением донных течений, траектория которых к тому же бывает изогнута значительно больше. Это приводит к заключению, что на валу переката еще сохраняется тот же тип течения, что и в верхней плесовой ложбине, т. е. комбинированный, с донными течениями в сторону мелкого берега, т. е. верхнего побочня.

Наблюдения показывают, что и взвешенные наносы, возрастая в пределах лобового ската, удаляются с переката в нижележащую часть русла очень слабо, встречая, очевидно, препятствие со стороны восходящих течений в подвалье переката. Вследствие этого взвешенные наносы образуют местную область насыщения в области гребня переката и лишь частично удаляются вдоль подваля.

Таким образом главная масса всех наносов на перекате как взвешенных, так и донных остается на тыловом скате переката, чем и объясняется устойчивость вала перекатов.

Изложенное подтверждается и наблюдениями на волжских перекатах, произведенными Инженерно-гидрологической станцией в 1920 и 1927 гг.

На рис. 61 (заимствован из „Лабораторн. исследования процессов образования перекатов“ А. И. Лосиевского) показано живое сечение, взятое на Васильевском перекате Волги (между гг. Горьким и Казанью). Это сечение проходит по валу переката и по верхней части нижней плесовой ложбины, еще мало развитой и со слабым течением.

В области подваля налицо раздел потока: изотакхи распределяются по каждой области и по валу и по подвалю (на Васильевском перекате подвальем и является верхняя часть нижней ложбины).

Кривая донных скоростей ($V=0$, рис. 6) резко, почти до нуля, снижается в подвалье, что подтверждает сказанное выше об оседании здесь наносов. Наблюдения показали, что резкий подъем изотх донных скоростей указывает на отложение наносов, срезывание же профилем дна таких изотх указывает на размывы.

Как уже выше упоминалось, корытом переката называют наиболее пониженную часть его вала, по которой и располагается судовая ход. Чем менее понижено корыто по сравнению с поверхностью вала, т. е. чем глубина его меньше, тем, естественно, более плоскую форму имеет вал, тем однообразнее очертание подвала по всей его длине и тем однообразнее по интенсивности восходящие течения у подвала. По мере углубления корыта интенсивность восходящих течений в пониженных

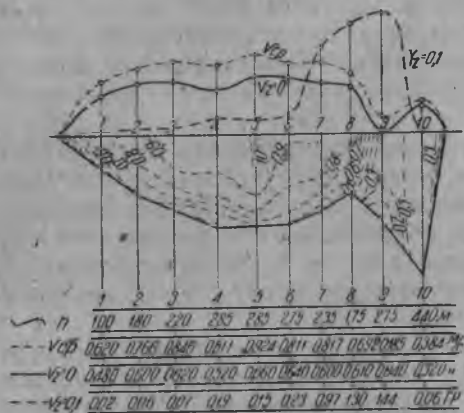


Рис. 61. Живое сечение по валу переката.

пологими откосами. Уничтожение верховьев нижней плесовой ложбины в целях устранения мешающих размыву вала переката донных течений, которые направляются от нижней ложбины к подвалю, значения, видимо, не имеет, как вообще не оказывает благоприятного влияния на состояние переката частичное уменьшение глубины нижней ложбины.

Лабораторные исследования нижней ложбины, произведенные инж. А. И. Лосиевским, наводят на мысль, что для улучшения судоходных условий на перекате следует, видимо, изменить плановое расположение ложбины относительно переката. К этому приходит и инж. Лосиевский, считающий целесообразным дать возможность потоку направиться в обход плесовой ложбины, способствуя одновременно отмиранию ее верхней части путем завала наносами.

Способствуя в известных условиях поддержанию существования донных течений, направляющихся к подвалю и переходящих далее в восходящие у подвала течения и поддерживаю-

ных точках корыта значительно уменьшается и этим создаются более благоприятные условия для образования в области подвала расходящихся донных течений. Такие течения будут вызывать размыв корыта, а с ним и вала переката с перемещением наносов на бою, т. е. будут созданы условия, благоприятные для образования устойчивого перевала. Как показывают лабораторные исследования, основным благоприятным фактором для размыва вала переката здесь является создание достаточно глубокого корыта с

ших устойчивое сохранение вала переката, нижняя ложина имеет, несомненно, чрезвычайно большое значение в жизни переката. Борьба с ее вредным влиянием должна быть поставлена при улучшении судоходных качеств переката на первый план. Верхняя ложина на формирование переката влияет значительно слабее. В ней образуется комбинированное течение направляющееся в донных слоях к мелкому, выпуклому берегу. Здесь, как показывают лабораторные исследования, образуется донное течение, направляющееся навстречу основному — комбинированному, так что около мелкого берега, в небольшом от него расстоянии, получается сходящееся донное течение. Оно создает, поднимаясь в верхние слои, область пониженных скоростей у дна, что вызывает отложение здесь наносов. Эти отложения наносов в большинстве случаев не примыкают сплошь к берегу, а образуют косу, отделяющую от потока узкую углубленную вымоину, идущую почти параллельно берегу. Вымоина, не оказывая влияния на состояние переката, соединяется обычно с нижней плесовой ложбиной.

Образование такой вымоины, наблюдаемой на многих перекатах, является как бы подготовкой к разработке нижней плесовой ложбины, доказывая лишний раз, что возникновение перекатов зависит от характера и распределения внутренних течений в потоке, а не от плановых форм (изгиба) русла.

§ 18. Влияние на состояние переката скоростей течения и колебания уровня воды

Посмотрим теперь, какое влияние на состояние переката оказывают скорости течения и колебания горизонтов воды. Это позволит уяснить влияние на перекаты паводков.

При увеличении скорости течения должны усилиться и внутренние восходящие донные течения у подвала переката, идущие от нижней плесовой ложбины. Следовательно, должно усилиться и отклонение ими струй течения, направляющегося через вал переката и перемещающего наносы. Последние в значительной своей массе будут откладываться на перекате, т. е. перекат должен обмелевать. Обратно, при уменьшении скоростей течения будут ослабевать и восходящие внутренние течения, отложения наносов либо станут меньше, либо наступит их размыв. Лабораторные исследования это подтвердили, показав, что при одном и том же уровне воды, но при более значительных скоростях течения подвал располагается на высоких отметках дна и вал переката повышается, долукая резкое очертание. При меньших же скоростях, наоборот, подвал спускается на более глубокие отметки и вытягивается к нижней плесовой ложбине, вал же переката понижается и становится плоским.

При изменении горизонтов воды, но при одной и той же скорости течения оказалось, что при повышении уровня воды состояние переката улучшается, подвал спускается в более

глубокие области русла, т. е. вал понижается. При понижении горизонта воды и при той же скорости течения, наоборот, состояние переката ухудшается и перекат засоряется наносами.

Теми же исследованиями было установлено, что при значительном повышении горизонта воды получается большое отложение наносов на середине вала переката, в корыте, что объясняется большим увеличением скорости внутренних восходящих течений.

Сопоставление результатов лабораторных исследований позволяет прежде всего выделить по влиянию на состояние перекатов паводки, близкие по своим размерам к половодью, и менее крупные паводки, быстро образующиеся и проходящие валом (большой волной).

При подобного рода паводках крупно и резко возрастают высоты стояния уровней реки и скорости течения; в продолжение короткого времени меняются условия, вызывающие образования тех или иных типов внутренних течений.

Во время половодья и при паводках, близких к ним, изменяется вся структура внутренних течений потока и изменяется, как уже упоминалось, в неблагоприятную сторону (образование течений II и смешанного типа). В такие периоды жизни реки на перекатах происходит крупное отложение наносов и в основной массе на корыте переката. Отложения эти происходят главным образом в период образования и прохождения максимума скорости паводка, который, как мы видели выше, наступает ранее пика паводка. После прохождения максимума скорости наносы продолжают оседать, но в меньшей степени.

При спаде высоких паводков размыв наносных отложений может начаться, видимо, только в том случае, если скорости течения будут убывать, опережая спад воды, который должен поэтому проходить медленно. При быстром спаде высоких вод размыв отложений наносов будет весьма незначителен или его вовсе не будет, так что при наступлении меженных горизонтов перекаты окажутся сильно обмелевшими. Это и наблюдается на реках точно так же, как и крупное отложение наносов при половодье и близких к половодью паводках.

При паводках средней величины, но проходящих быстро, валом, отложившиеся наносы также не успевают размываться и засоряют перекаты вследствие того, надо полагать, что внутренние течения не успевают переформироваться и проходят какие-то промежуточные фазы.

При нормально проходящих паводках средней и малой величины процесс отложения наносов должен сохранять в общем тот же характер, но он будет в известной степени регулироваться соотношением в изменениях высоты горизонта воды и величины скоростей течения, так как эти изменения происходят значительно менее резко и в более правильной постепенности.

Повышение уровня воды происходит вследствие увеличения расхода ее, а следовательно, и увеличения средней скорости течения. Повышение глубины благоприятно, как показывают исследования, для улучшения условий размыва переката лишь при уменьшении скорости течения. При увеличении же глубины, т. е. расхода, скорости также увеличиваются, что влечет за собой и увеличение количества переносимых рекою наносов. Увеличение же при повышении глубины скорости (выше известного предела) способствует отложению наносов. Таким образом при паводке мы встречаемся с одновременным воздействием на состояние переката положительного, благоприятного фактора (увеличение глубины) и отрицательных факторов (увеличение скорости и количества переносимых наносов). Если повышение глубины таково, что эффект от него будет больше, чем уменьшение глубины вследствие отложения наносов, то в судоходном отношении перекат улучшится, так как глубина на нем увеличится, хотя и не соответственно с подъемом уровня, а меньше. Если вследствие увеличения скорости течения наносы отложатся слоем такой же высоты, как и высота повышения уровня, то судоходное состояние переката в отношении глубины не изменится, но может ухудшиться расположение хода в плане. Наконец, если повышение уровня будет меньше высоты слоя отложившихся наносов, то и глубина переката при повышении уровня воды уменьшится.

В большинстве случаев при нормальных паводках увеличение глубины перекатов бывает меньше увеличения высоты стояния уровня.

Степень взаимного уравнивания положительных и отрицательных факторов, появляющихся в результате образования в потоке внутренних течений и влияющих на состояние перекатов, обуславливает большее или меньшее ухудшение или улучшение состояния перекатов как при прохождении паводков, так и при колебаниях уровня воды.

Примыкающие к перекату плесы в своем бытовом режиме реагируют на изменение уровней стояния воды и на изменение величины скоростей течения иначе, чем перекаты, несмотря на то, что часть плеса часто находится в одном живом сечении с перекатом (нижний конец верхней, считая по течению, и верхний конец нижней плесовой ложбины). И действительно, наблюдения показывают, что, например, при изменении горизонтов воды кривые распределения скоростей на плесах отличаются от подобных кривых на перекатах.

При низких уровнях воды скорости на плесах значительно меньше, чем на перекатах. В плесах более глубоких (по сравнению с глубинами на перекате) донная скорость имеет малую величину, вероятно, близкую к нулю, и отношение поверхностной скорости к донной сравнительно значительно. При повышении уровня, а также при паводках, пока река не вышла из межени берегов, и донные и поверхностные скорости

в плесах возрастают, но так, что отношение между ними изменяется сравнительно мало, причем наибольшая скорость располагается близко к поверхности. На перекате, наоборот: выравнивания скоростей не происходит, и по мере повышения уровня воды отношение поверхностной скорости к донной возрастает и обратно, — при спаде воды — уменьшается, приближаясь к единице.

Последнее показывает, что чем меньше глубина на перекате, тем ближе ко дну располагается наибольшая скорость. Подобное положение наблюдается и при затопленных водосливах, с которыми можно сравнить перекаты.

При значительном повышении уровня реки, когда заполнена пойма, образуется два потока: один, верхний, протекает соот-



Рис. 62. Меженное и высоководное течение.

ветственно направлению и плановому расположению русла высоких вод. Второй поток — нижний — заполняет меженное русло и ряд второстепенных рукавов и более глубоких староречий. Обычно верхний поток во многих местах пересекает нижний (рис. 62), так как русло половодья сравнительно редко совпадает с меженным руслом. Взаимодействие этих потоков еще не обследовано, но наблюдения, правда, далеко не полные, показывают, что если пересечения происходят под углом, близким к прямому, нередко в меженном русле образуются в местах пересечений значительные отложения наносов или, при легко размываемых грунтах, начинает разрабатываться по направлению течения высоких вод новое меженное русло, сокращающее длину существующего.

На участках реки, где половодное и меженное русла совпадают, особенно при незатопляемых берегах, отложений наносов в половодье или не происходит или, если они происходят, то размываются при спаде воды. Объясняется это тем, что при совпадении русел создаются условия, при которых в потоке образуются при спаде воды внутренние течения, благоприятные для размыва отложений.

Так например, при расположении и половодного и меженного русла у незатопляемого вогнутого берега в нем в период высоких вод образуются внутренние течения или II или смешанного типа. При спаде воды они преобразуются в течение комбинированное, и отложившиеся в половодье наносы размываются.

Заканчивая изложенное выше в общих чертах объяснение основных явлений, наблюдаемых при главных деформациях русла, по далеко еще не полным исследованиям, требующим дальнейшего более углубленного развития, мы должны отметить еще следующее.

В процессе формирования русла, как бы он ни объяснялся, большое значение имеет соотношение между скоростями течения и размерами наносов. Этот вопрос был впервые освещен инж. В. М. Лохтиным (В. Лохтин. О механизме речного русла. Казань. 1895). Инж. Лохтин предложил разделить реки на две категории: с устойчивым и неустойчивым руслами. Основываясь на том, что чем крупнее частицы наносов, покрывающих русло, или же чем меньше поверхностный уклон реки (или данного ее участка), тем русло (или участок его) неподвижнее, устойчивее, инж. Лохтин принял отношение линейных размеров частиц наносов к величине уклона за коэффициент устойчивости русла.

Такие коэффициенты, как указывалось выше, не точны, но могут все же служить для приблизительной оценки степени устойчивости рек.

Очевидно, увеличение скорости течения имеет отрицательное влияние на устойчивость русел, так как оно усиливает внутренние течения, а следовательно, и переформирование русла. Наоборот, уменьшение скорости течения или увеличение крупности наносов должно увеличивать устойчивость реки, так как и в том и в другом случаях коэффициент устойчивости увеличивается. Уменьшение скорости течения не всегда желательно и допустимо, так как может привести к прекращению перемещения наносов и предпочтительно поэтому укрупнение наносов. Но последнее трудно осуществимо, так как требует искусственного покрытия ложа реки равномерным слоем крупных наносов, большой осторожности и предварительного тщательного исследования действительной, практической целесообразности этой меры. Дрезденская гидротехническая лаборатория (проф. Энгельса) исследовала этот вопрос и получила благоприятные результаты, но практического осуществления такой способ увеличения устойчивости ложа реки еще не получил. Лабораторное исследование подобного рода производится и у нас инж. А. И. Лосиевским.

§ 19. Горные реки

Некоторые равнинные реки, начинаясь в горах, имеют в верхнем течении характер горных рек или же, протекая вдоль горных хребтов, получают ряд притоков горного характера. Независимо от этого иногда приходится выправлять и горные реки в целях приспособления их главным образом для сплава.

Горные реки, как и показывает само их название, протекают в горах, по их склонам, по тальвегам обыкновенно узких скалистых долин с крутыми склонами. Русло горных рек, в большинстве случаев также сложено из скалистых пород и поэтому трудноразмываемо.

В отличие от равнинных рек горные реки имеют продольный профиль с резко выраженными большими уклонами и не-

редко имеют ступенчатый характер. Это те горные реки, которые ранее составлялись из ряда озер, расположенных на разных высотах по склону горы и соединявшихся водопадами. Это подтверждается встречающимися в русле реки сравнительно глубокими с отвесными стенами ямами, образованными ударами падавшей воды. Водопады постепенно размывали свои стенки падения и последние из вертикальных обращались в наклонные, образуя русло с большими, сосредоточенными в отдельных пунктах уклонами.

Питание горных рек, протекающих в скалистых руслах, почти исключительно поверхностное, т. е. от таяния снегов и ливневых вод, так как грунты долин и самого русла обыкновенно непроницаемы, почему подземного стока в большинстве случаев не бывает. Постоянное питание имеют только те горные реки, которые начинаются в области вечных снегов или долины и русла которых сложены из водонепроницаемых пород, создающих благоприятные условия для образования запаса грунтовых вод.

Питающий горные реки поверхностный сток вследствие крутых склонов бассейна поступает в реки с большой скоростью, большими валами и быстро проходит по реке. Поэтому после таяния снегов или выпавшего ливня река быстро наполняется водой, уровень которой поднимается в течение нескольких часов на значительную высоту, река бурно несется, а затем, вскоре же после окончания ливня, начинается быстрый спад, и река приходит в свое обычное состояние. Вследствие этого отношение между наибольшими и наименьшими расходами в горных реках, особенно питающихся только стоком от таяния выпадающих снегов и ливней, весьма велико.

Многие горные реки, в обыкновенное время представляющие небольшие ручьи, а иногда и просто сухие ложбины, обращаются после сильных ливней в многоводные и бурные потоки, заполняют свои долины и, стекая с огромной скоростью, сносят на своем пути все препятствия.

Если такая река протекает по неразмываемым долине и руслу, то она получает название просто бурного горного потока.

Если долина и русло размываемы и река после ливня или быстрого таяния снегов несет большие количества крупных наносов в виде обломков скал, крупных камней и различных продуктов разрушенных горных пород с массой гальки, щебня и песка, то она образует грязевой поток, получающий название селевого потока.

Каждый сформировавшийся горный поток можно разделить на три части. Верхняя часть горного потока обыкновенно имеет форму широкой воронки и располагается в области наибольшего разрушения горных пород. Здесь накапливается главная масса воды и наносов, почему эта часть носит название сборного бассейна или чашки.

Средняя часть горного потока или канал является собственно руслом. Поток разрабатывает его главным образом в ширину то с одной, то с другой стороны, почему русло получает довольно неправильную плановую форму. Русло усеяно камнями и отложениями наносов.

Наконец устьевая часть потока, конус высыпок, служит основным местом отложения наносов, своего рода дельтой потока.

В период прохождения паводковых вод селевые потоки перемещают переносимые ими наносы весьма неравномерно и разнообразно в зависимости от характера тальвега и степени насыщенности наносами.

При более пологом расположении русла и при небольшом насыщении наносами последние переносятся силой течения: более легкие части переносятся скорее, а более тяжелые передвигаются медленно. Главная масса наносов проходит при этом либо до устьевой части потока, в меньшей части осаждаясь в русле, либо задерживается где-нибудь в пути, например, в более узкой части русла, и откладывается, загромождая его. По мере увеличения создаваемого таким заграждением подпора масса наносов растет. При следующем ливне, уже не выдерживая напора потока, такое заграждение прорывается и огромной массой или выносится в устье или задерживается на новом сужении русла, чтобы при следующем ливне вынестись в реку, в которую впадает поток. Нередко такие скопления, постепенно пропуская скопившуюся за ними воду, намокают и обваливаются уже под действием силы тяжести. Поток прорывается и, увлекая скопившуюся массу наносов, выносит ее в реку. При выходе в долину реки, куда впадает селевой поток, отлагаемые им наносы расползаются в стороны, образуя конические высыпки или так называемые конусы высыпок.

При потоках с более значительным падением описанный процесс происходит более быстро и более резко. Конусы высыпок, попадая из долины в реки (подобные высыпки могут быть и в межень), могут их постепенно, а небольшие реки и сразу преградить, отклонив их течение и вызывая размыв противоположного берега. Бывали случаи, когда вследствие подобных высыпок на противоположных устьях селевого потока берегах смывались дороги и поселки. Селевые потоки приносят много вреда и в нашем Союзе — на Кавказе и в Закаспийских областях.

Бурные горные потоки, хотя и небогаты наносами, также приносят большой вред, вызывая в реках, куда они впадают, неожиданные большие и резкие колебания уровня со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Условия течения в горных потоках пока еще очень мало исследованы.

Равнинные реки имеют, как уже упоминалось, иногда горный характер в своих верховьях. Это совпадает с общим

строением нашего материка, имеющего общий и постепенный подъем от окружающих его океанов. Но есть много равнинных рек, которые приобретают характер, близкий горным рекам на отдельных участках среднего и нижнего течения. Это наблюдается в тех случаях, когда речная долина пересекает горные массивы, отдельные скалистые хребты или каменные гряды. Такие участки рек получают название порожистых, а выступающие в русле скалистые гряды называют порогами.

§ 20. Пороги)

Встречая на своем пути скалистые гряды, реки не всегда бывают в состоянии размыть их настолько, чтобы образовать нормальное, сравнительно ровное ложе. Если река не может обойти такое препятствие, то русло реки остается прегражденным на всю ширину скалистой грядой, выступающей над его дном на различную высоту и занимающей нередко значительную площадь. Подобного рода скалистые гряды образуют в русле подобие порога в дверях домов и поэтому получили и на реках название порогов.

Пороги можно разделить на два основных типа. В одном каменная гряда идет поперек всего русла сплошным хребтом, хотя и различной в отдельных точках высоты, но все же довольно значительно возвышаясь над дном реки. Такой порог образует род плотины с крутым нижним откосом.

В другом типе гряда не имеет ярко выраженного гребня и представляет плоский вал меньшей высоты, чем в первом типе, причем этот вал имеет весьма пологие откосы и местами почти сливается с руслом.

В обоих типах на пороге бывают еще и отдельные группы камней и камни-одинцы, рассеянные в большем или меньшем числе вблизи гряды, выше и ниже по течению.

Как промежуточный тип встречаются пороги, состоящие из выступающих только местами по живому сечению скал, первоначально представлявших одну сплошную гряду; части живого сечения между этими скалами представляют возвышения дна, покрытые каменистыми, песчано-каменистыми или песчаными отложениями. Такой тип порогов является, видимо, результатом многовековой работы реки, размывавшей скалистую гряду.

Порогами же, а на некоторых реках „заборами“ называют каменистые невысокие выступы дна, занимающие сравнительно с типовыми порогами гораздо большую площадь, беспорядочно усеянные отдельно стоящими группами некрупных камней и по преимуществу некрупным же камнями-одинцами. Пороги с гребнем, непрерывными или прерывающимся, вызывают образование подпоров с сильными перепадами воды и весьма неравномерным распределением течения, падений и скоростей в пределах порога.

Пороги с грядой в виде плоского вала хотя и вызывают также образование подпора, но уже менее значительного и с

более равномерным и распластанным перепадом. Заборы и пороги типа заборов образуют весьма незначительные подпоры и характеризуются быстрым течением и незначительной в межень глубиной по всему поперечному сечению русла.

Каждый выступ дна, каждый камень-одинец, не говоря о группах камней и грядах, вызывают при больших скоростях течения на порогах и заборах явления водяного прыжка, неправильное распределение течения и скоростей. На порогах и заборах, как и вообще на горных реках мы имеем русла весьма большой шероховатости, условия течения в которых мало еще изучены.



Рис. 63. Ненасытецкий порог, бывший на Днепре.

Чем ниже стоит уровень реки, тем заметнее и интенсивнее влияние рельефа порога на поток и тем резче проявляются аномалии течения. Чем ниже уровень воды в реке, тем больше общий уклон на пороге, тем больше местные уклоны и скорости в различных местах порога и тем неправильнее распределение течения. За частями гряды и за камнями-одинцами получают обратные водоворотные течения — суводи. Чем выше стоит уровень воды в реке, тем меньше общее падение на пороге, тем плавнее идет течение и тем меньше в нем аномалий.

На некоторых реках пороги располагаются группами, порог за порогом, и тогда такой порожистый участок реки получает по продольному профилю ступенчатый вид с небольшими поверхностными уклонами между порогами и с большим падением на порогах, на которых и сосредоточивается обыкновенно значительная доля общего падения всего порожистого участка. У нас были такие пороги на р. Днепре, где они занимали участок

реки длиной около 66,6 км между гг. Днепропетровском и Запорожьем. Всего было 10 порогов с общим падением на указанном протяжении в 33,49 м, что дает средний уклон в 0,0005.

На отдельных порогах среднее падение на 1 м колебалось от 0,0006 (порог Лишний) до 0,0132 м (порог Ненасытецкий, рис. 63), причем местами падение на 1 м достигало 0,0188 м (Ненасытецкий порог у камня Гроза).

С постройкой плотины у гидростанции имени В. И. Ленина в Запорожье днепровские пороги исчезли, так как все они перекрыты подпором от плотины.

Кроме Днепра пороги есть у нас и на других реках (например, на Иртыше, Ангаре и др.) точно так же, как они есть и на заграничных реках.

§ 21. Устья рек

Участок речного русла, непосредственно примыкающий к океану, морю, озеру или к другой реке, вообще к водоему, в который впадает данная река, называется устьевым ее участком, а поперечное сечение русла, в котором речные берега примыкают к берегам водоема, принимающего воды реки, — речным устьем. По виду и характеру своего устья реки бывают весьма разнообразны, что зависит от особенностей быта рек и водоемов, принимающих эти реки.

Подход к рекам со стороны принимающих их океанов, морей и озер, а также и вход в самые реки в большинстве случаев бывает прегражден широкими распластанными мелями, с постепенно возрастающей глубиной в сторону моря (океана или озера). В устьях одних рек эти мели образуются преимущественно речными наносами, откладывающимися вследствие значительного уменьшения скорости речных течений при встрече с водами моря (озера или океана). В устьях других рек, наоборот, мели образуются главным образом наносами, приносимыми морскими прибрежными течениями, принужденными при встрече с речным течением менять свое направление и терять скорость движения. Наконец устьевые мели могут слагаться более или менее равномерно как из речных, так и из морских наносов. Во всех этих случаях отложение мелей является результатом взаимодействия между водами рек и водами водоемов, их принимающих.

Одни реки имеют однурукавное устье, т. е. впадают в водоемы одним потоком, другие — имеют многорукавное устье, т. е. их устьевой участок делится на ряд большей или меньшей величины протоков, которыми река и впадает в водоем. Подобные многорукавные образования получают название дельт¹. Образуются они в процессе многовековой жизни реки постепенными отложениями наносов на прилежащих к устью площадях дна водоема. По сравнению с жизнью всей реки дельта — это новообразования нижнего участка реки, устьевого, примыкающего

к водоему, вызванные сложным взаимным воздействием речных и морских факторов.

Установить причины, которые вызывают образование дельт (так как однорукавные устья дельт не имеют), в настоящее время не представляется возможным, так как вопрос этот исследован еще далеко недостаточно. Можно предполагать, что главное значение имеют топографические особенности берегов и прибрежья водоема, принимающего реку, степень солености воды водоема, геологические условия дельтового участка реки и степень насыщенности ее наносами, т. е. комплексное действие части морских (океанских и озерных) и части речных факторов.

Такое комплексное взаимодействие более сложно при впадении рек в ливные водоемы, т. е. в такие, в которых имеются регулярные приливы и отливы. Таких рек у нас очень мало, и мы будем иметь в виду лишь реки, впадающие в безливные водоемы, т. е. в водоемы без приливов и отливов.

Дельты многих рек¹ занимают огромную площадь, так например, дельта Волги (в границах, принимаемых Мейснером) имеет площадь около 13 400 км².

Дельты у большей части рек низменны, болотисты, изрезаны множеством рукавов, покрыты низкорослой растительностью, часто с преобладанием различных видов камыша, достигающего местами крупных размеров и большой густоты.

Не у всех рек, имеющих дельты, они достигают правильного и полного развития. Некоторые реки впадают в глубокие заливы, получающие название эстуариев или лиманов².

В дельтах отличают надводную, незаливаемую водой или заливаемую лишь на короткие периоды часть, затем подводную, находящуюся постоянно под водой, — ее иногда называют авандельтой, и так называемый свал, т. е. полосу подводной части, на которой, на небольшой ширине, глубина дельты резко увеличивается, переходя уже в большие глубины водоема.

Образование дельт схематически происходит следующим образом. В периоды высоких вод река выносит в море массу своих наносов и откладывает их в прибрежной полосе, особенно если побережье мелко и морские береговые течения слабы. Наносы в основной массе оседают по направлению течения реки и образуют бар (мель перед устьем, обыкновенно постоянно сохраняющую свое место), которым она и создает препятствие

¹ От греческой буквы „дельта“ — Δ, в печатном шрифте имеющей вид треугольника, так как речные дельты имеют в общем очертание в плане, напоминающее треугольник.

² Иногда реки образуют „внутренние“ дельты. Это реки, пересекающие перед впадением в водоем горную возвышенность и образующие перед ней дельту. Таких рек немного (например, река Одер). Реки, протекающие в пустынях и исчезающие в нижних своих участках или от просачивания в почву или от испарения, иногда также образуют „сухую“ дельту — отложения, напоминающие формой речную дельту. Такие реки у нас в Союзе имеются в Средней Азии. Многие реки, впадающие в большие и глубокие заливы, называемые эстуариями, а у нас на Черном море — лиманами, не имеют правильно развитых дельт.

своему же течению. Бары постепенно разрастаются в зависимости от условий речных и морских течений или преимущественно в длину или же, наоборот, в ширину. В первом случае река удлиняет свой устьевой участок, прорабатывая ход через бар, и образует в нем узкий глубокий ход („банк“). Во втором — обходит бар и, откладывая наносы по его сторонам (или по одной стороне), образует постепенно новые устьевые рукава, получающие на некоторых морях (Черное) название гирл (гирлами иногда называют подводные углубления дельты на входе устьевых рукавов, т. е. то же, что и банками).

Если морской берег при впадении реки высок и крут, что бывает при скалистых берегах, или если морские течения около устья реки сильны, то это создает неблагоприятные условия для образования бара, и дельта может не образоваться или будет нарастать очень медленно.

Если река имеет эстуарий, т. е. впадает в залив, то последний является как бы отстойным бассейном для речных наносов, отлагающихся уже более равномерно по всей площади залива. Выход из эстуария в водоем обыкновенно бывает узок и глубок, так как воды реки, прорабатывая его, уже несут незначительный объем наносов, оставив главную их массу в эстуарии. С другой стороны, нагонные ветры с моря, заполняя эстуарий большой массой воды и повышая ее уровень, при прекращении или особенно при перемене своего направления на обратное, вызывают усиленное течение из эстуария в водоем, которое и углубляет ход.

Реки в образовании баров участвуют главным образом своими наносами при высоких уровнях, в периоды же межени нарастание бара происходит за счет морских наносов.

При развитии дельты нарастание ее надводной части происходит главным образом в виде поступательного движения ее береговой линии (уреза) и в меньшей степени поднятием ее по высоте. Подводная же часть дельты, наоборот, нарастает преимущественно по высоте, т. е. глубины ее уменьшаются, выдвигание же в море, к глубоким ее частям, происходит несравненно медленнее. В процессе нарастания дельты относительно крупное значение, повидимому, имеет и растительный ее покров, способствующий не только задержанию наносов, но и усиленному их отложению.

Наростание дельт в зависимости от характера и степени влияния комплекса гидрологических, метеорологических и геологических факторов происходит с различной интенсивностью.

В одни годы дельты нарастают сильнее, в другие — слабее. В среднем, например, дельта Волги ежегодно увеличивается на 0,19 км, при максимальном годовом росте в 0,30 км и минимальном — 0,08 км (В. Валединский и Б. Аполлов. Дельта реки Волги. Тифлис. 1930), причем среднее годовое выдвигание в море надводной части дельты может быть определено в 0,18 км в год.

ВЫПРАВЛЕНИЕ (РЕГУЛИРОВАНИЕ) СУДОХОДНЫХ РЕК

§ 22. Цели выправления

Почти все судоходные реки в естественном состоянии представляют более или менее значительные препятствия судоходству. Реки, протекающие в долинах, сложенных из пород, сравнительно легко поддающихся размыву (такие реки у нас встречаются наиболее часто), в большей или меньшей степени насыщены наносами и имеют переменный расход воды, изменяющийся в течение навигации в широких пределах. Размывая берега, перенося и откладывая в русле наносы, реки меняют нередко значительно как рельеф своего русла, так и плановое его расположение, создавая мели, русловые (перекаты) и прибрежные (побочни) острова и искривления судового хода, а иногда и судоходного русла. Подобного рода мели и искривления судового хода очень часто создают крупные препятствия для плавающих судов как уменьшением глубины судового хода, так и сокращением его ширины и крутыми поворотами. Размыв берегов нередко ухудшает плановое очертание причальных линий, а отложение побочной порты, а иногда и делает невозможным подход судов к перегрузочным пунктам.

Подобного рода изменения, ежегодно происходящие в русле естественных рек, приносят вред не одному только судоходству, но и населенным прибрежным пунктам.

Размывы берегов отнимают у жителей ценные земли, угрожают целости построек, в некоторых случаях лишают населенные пункты и промышленные предприятия воды (например, при заложении надвигающимися мелями водоприемников, завале оросительных каналов и т. п.).

То же самое, хотя и в меньшей мере, происходит и в реках, протекающих в трудно размываемых грунтах, в руслах же каменистых судоходство встречает каменные гряды, образующие пороги, камни-одинцы и т. д.

Улучшения судоходных качеств реки можно достигнуть различными способами. Так, для увеличения глубины на мелких, в межень, участках реки (на перекатах) и для улучшения расположения судового хода в плане можно применить один из следующих способов:

а) Дноуглубительные работы или, как их иначе называют землечерпание.

б) Дноочистительные работы (камнеуборные, в том числе взрывные работы и карчеподъемные).

в) Систему специальных сооружений (как береговых, так и располагаемых в русле) или так называемых выправительных (регуляционных) сооружений, состоящих из различного рода дамб и береговых укреплений, совместно с дноуглубительными работами.

г) Дополнительное питание реки искусственным увеличением в межень ее расхода воды.

д) Постройку каналов в обход затруднительных мест.

е) Шлюзование, т. е. превращение реки заграждением ее рядом последовательно расположенных в русле плотин в глубокие бьефы, возвышающиеся один над другим и соединенные шлюзами. Этот способ, как и способ дополнительного питания часто соединяются и с одновременным использованием энергии падения воды через плотины (устройством гидростанций, мельниц и т. п.).

В каждом отдельном случае необходимо избирать способ улучшения судоходных свойств реки, сообразуя его целесообразность и эффективность с предъявляемыми к реке судоходными требованиями и с естественным бытом реки, а также с причинами, ухудшающими судоходные качества пути, дефекты которых необходимо устранить. Обязательно надо учесть и экономические результаты избираемого способа и их отражение на себестоимости перевозок по улучшаемому водному пути.

Задачу выправления судоходных рек можно определить следующим образом.

Выправление имеет своей целью, сохраняя течение реки свободным, так его преобразовать при помощи системы береговых и русловых сооружений и дноуглубления, чтобы достигнуть устойчивого положения речного русла в состоянии, которое отвечает предъявленным судоходным требованиям.

К выправлению реки может быть одновременно предъявлен и ряд дополнительных требований в интересах прибрежных населенных пунктов и использования прибрежных земель в тех или иных целях. Так, может быть потребовано обеспечение неизменяемости уровня грунтовых вод побережья, сохранение на старых местах переправ через реку, доступа к определенным береговым пунктам, сохранение на определенных участках реки существующих взаимоотношений при известном уровне реки между площадью ее водного зеркала и русловых мелей и т. п.

§ 23. Основные положения выправления

Под выправительными работами всегда и обязательно следует понимать совместное воздействие на поток как системы береговых и русловых выправительных сооружений, так и дноуглубительных работ. Опыты привели к выводу, что выправление должно производиться, как общее правило, при непременно

участии землечерпания. И если в 1894 г. на международном конгрессе по судоходству в Гааге (Голландия), почти целиком посвященном проблеме выправления рек, не упоминалось о землечерпании, как составной части выправления, хотя оно фактически и применялось, то в последующие годы такое понимание выправления сомнений уже не вызывало. Только совместное действие выправления и землечерпания, как показывает практика, может обеспечить улучшение судоходных качеств речного пути. В частности, могут быть и бывают случаи, когда применение дноуглубления (землечерпания) оказывается излишним, точно так же, как наблюдаются примеры, когда капитальное улучшение судоходных свойств реки достигается одним дноуглублением. Поэтому иногда и чисто дноуглубительные работы называют выправительными, что нельзя признать правильным, так как капитальное улучшение судоходных условий рек только одним землечерпанием достигается лишь при особо благоприятных условиях, а не как общее правило. Обыкновенно землечерпательные работы требуют в огромном большинстве случаев повторения ежегодно, а иногда даже и чаще.

Выправительные работы совместно с дноуглубительными дают несравненно более устойчивые результаты, но требуют для поддержания полученных результатов улучшения судоходного пути и периодического применения землечерпания. Повторное применение землечерпания носит уже характер чисто ремонтного, так как прибегать к нему приходится значительно реже и вычерпывать меньшие количества грунта, чем при улучшении судоходных условий рек одним только землечерпанием.

Основное назначение выправительных сооружений — это дать меженному руслу потока, а стало быть, и судовому ходу при меженных и низких стояниях уровня реки такое устойчивое расположение в плане, которое наилучше отвечает требованиям судоходства. Вызывая вместе с тем совместно с землечерпанием соответственное изменение рельефа русла и внутренних течений потока, выправление обеспечивает длительное сохранение необходимой судоходной глубины.

Развитие системы выправительных сооружений для высших, чем меженние, горизонтов стояния воды требуется лишь в исключительных случаях. Наблюдения показывают, что действие выправления¹ в некоторых случаях гораздо продуктивнее и лучше на таких участках реки, где общее направление высоких (для наших рек в большинстве случаев весенних) и меженных вод совпадает. Однако же соблюдение этого условия, как показывает практика применения выправительных работ, необязательно.

¹ Под выправлением и „выправительными работами“ надо понимать, как указывалось и выше, совместное применение выправительных сооружений и землечерпания. В таком понимании эти термины здесь применяются и поэтому в дальнейшем изложении не повторяется „с совместным применением землечерпания“.

Выправительные сооружения для половодного потока требуют обычно весьма значительных капиталовложений, которые часто бывают несоразмеримы с получаемыми от них результатами. Поэтому применение выправления русла высоких вод, половодного, можно рекомендовать лишь в тех случаях, где оно экономически себя оправдывает. Это чаще всего бывает при решении комплексных задач речного хозяйства. Так например, в случае необходимости ограждения прибрежной полосы судоходной реки от наводнений оградительные валы следует располагать так, чтобы они были полезны и для выправления реки.

Это, понятно, следует иметь в виду и в тех случаях, когда река еще не освоена судоходством, но есть основание предполагать, что такое освоение может быть достигнуто при помощи выправительных работ.

Таким образом под понятием „выправления“ обычно подразумевается выправление меженного русла, когда же говорят об улучшении таким способом судоходных условий русла высоких вод, то необходимо это отмечать („выправление весеннего русла“ или „высоководного русла“).

Существовало и существует среди гидротехников мнение, что выправление только одного переката на данном гидрологически обособленном участке реки нецелесообразно, так как это влечет за собой ухудшение (в судоходном отношении) нижележащего переката, а по мнению некоторых — еще и нижележащего плеса и вышерасположенного переката. В свою очередь порча нижележащего переката вызывает ухудшение следующего и т. д. Это логически приводит к необходимости и целесообразности одновременного выправления лишь всего участка реки, гидрологически обособленного от соседних участков, а не отдельного переката на таком участке.

Практика выправительных работ и упоминавшиеся выше лабораторные исследования показывают, что образование переката и переформирование его, в зависимости от образования и характера внутренних течений, не отражаются на соседних перекатах, если они отделяются друг от друга плесами (плесовыми ложбинами). Основной цикл внутренних течений, вызывающих переформирование переката, замыкается на каждом перекате. Поэтому можно выправлять отдельные перекаты, не опасаясь, что это повлечет ухудшение прилежащих к перекату соседних плесов, в особенности соседних перекатов. В случае сопряженных или спаренных перекатов, переходящих один в другой без промежуточной плесовой ложбины (такие перекаты встречаются очень редко и по существу представляют один перекат), необходимо, понятно, выправлять одновременно оба переката.

Значительное понижение горизонта воды на выправленном перекате может вызвать известное ухудшение вышележащего переката, если он расположен близко к выправленному.

Надо однако заметить, что при рациональном выправлении сколько-нибудь значительного понижения горизонта воды на выправленном участке быть не должно.

Точно так же выправление должно вестись так, чтобы выносы наносов с выправляемого участка складывались, не ухудшая судового хода сейчас же ниже переката.

Высказываемые иногда мнения, что выносы с выправляемого переката ухудшают перекаты нижележащие, не подтверждаются практикой.

Эти выносы должны ведь сначала пройти плес между перекатами, а при высоких водах и при их спаде, когда главным образом и идет переформировка рельефа перекатов, выносы с выправленного переката составляют в общей массе перемещаемых рекою наносов ничтожную часть и уже по одному этому не имеют значения для нижележащего переката.

Само задание выправления при помощи выправительных работ необходимо прежде всего сообразовать с условиями естественного быта реки на данном ее участке. Нельзя требовать от выправления обеспечения в межень произвольно большой, например, глубины на перекате или ширины судового хода. Пределы возможных и реальных в этом отношении достижений связаны с целым комплексом факторов, в зависимости от которых складывается естественный быт реки на данном участке. Необходимо учитывать амплитуду колебаний расходов и уровней, частоту их повторяемости, характер и частоту паводков, падения и уклоны, характер грунтов, слагающих ложе реки и ее берега, и т. п.

Образцом улучшения затруднительных для судоходства мест на выправляемых участках реки должны служить благоприятные по своим судоходным качествам участки реки, плесы и перевалы, близкие по гидрологическим качествам к выправляемому перекату.

Применяя выправление, следует помнить, что прекратить при помощи выправительных сооружений и землечерпания передвижение и отложение наносов как взвешенных, так и донных, перемещаемых рекой, невозможно.

Пользуясь выправительными сооружениями и дноуглублением, необходимо стремиться к созданию или поддержанию таких внутренних течений в потоке, при которых обеспечивались бы наиболее благоприятные для судоходства размыв и отложение (транспорт) наносов. Говоря иначе, выправление должно обеспечить устойчивое переформирование рельефа переката, при котором суда не встречали бы препятствий для успешного и безопасного плавания.

Переходя к обоснованиям проектирования выправления перекатов, необходимо указать следующее.

Основным свойством каждой реки является турбулентный характер ее течения, отличающийся непрерывным изменением (пульсацией) в каждой точке живого сечения скоростей (про-

дольной и поперечной) по величине и по направлению с образованием типичных течений. Последние, как мы видели выше, определенным образом влияют на изменение рельефа русла и плановое его расположение.

Изучение законов турбулентного движения в непрерывно меняющихся условиях естественного быта рек представляет весьма большие трудности. Несмотря почти на сорокалетнюю работу (по преимуществу теоретическую) ряда видных исследователей в области гидро- и аэродинамики, проблема турбулентного потока в настоящее время находится в стадии искания новых путей и методов к ее правильному разрешению.

Соотношения плановых форм и рельефа постоянно изменяющихся речных русел с различными элементами естественного быта рек (с уклонами, твердым и жидким расходами, скоростями течения и шероховатостью русла) пока еще не могут быть достаточно достоверно обоснованы ни гидравлическими, ни гидромеханическими расчетами.

Лабораторные исследования, далеко еще недостаточные и неполные, освещая лишь несколько характер работы потока, дают пока только некоторые указания на направление дальнейших исследований быта рек, но не могут еще служить полноценной базой для разрешения вопросов выправления.

Вследствие такого положения приходится признать, что основывать проектирование выправления на теоретических расчетах гидравлики — нецелесообразно, так как придется вводить ряд условных предположений, совершенно ничем не подтверждаемых, т. е. вести заведомо неправильные расчеты. Остается таким образом путь эмпирический, путь опыта, практики и аналогии. Это путь непосредственных наблюдений над выполненным уже выправлением и результатами его воздействия на поток, находившийся в условиях естественного быта, близких с теми, в которых находится и намечаемый для выправления участок реки.

Широкое и уже давнее применение выправления на реках Западной Европы, особенно Германии и Франции, выправление американских рек и ряд выправительных работ на наших реках представляют достаточный материал для удовлетворительного разрешения задач выправления. Путем многолетнего изучения и сопоставления результатов выправления не только различных участков рек, но и целых рек, постепенно создавалась практическая теория выправления.

Многолетние наблюдения над результатами выправительных работ на различных реках позволили установить ряд явлений, идентичность и повторяемость которых показали их неизбежность для всех рек.

Так, прежде всего выяснилось, что выправление должно принаравливаться к бытовым условиям реки, используя и усиливая те из них, которые благоприятствуют задачам выправления, и ослабляя, а если представится возможным, то и пара-

лизуя условия неблагоприятные, стремясь поставить выправляемый участок реки в условия, близкие к бытовому укладу ближайших к нему хороших по судоходным свойствам участков.

Затем практика выправительных работ показала также, что свойственное природе рек расположение наибольших глубин в русле у вогнутых берегов с последовательным чередованием последних то с одной, то с другой стороны русла является благоприятным фактором. Понятно, оно должно быть сохраняемо и при выправлении с обеспечением непрерывного плавного криволинейного очертания берегов в плане и непрерывности в переходе от кривой одного берега к обратной кривой противоположного берега.

Принцип непрерывности кривых в плавном очертании¹ вогнутых берегов и перехода от одного вогнутого берега к другому, противоположному, обеспечивает благоприятное для судоходства состояние судового хода вследствие сохранения комбинированного внутреннего течения в плесовых ложбинах и течений I типа на перевалах. Эти течения были установлены упоминавшимися выше наблюдениями инж. Лелявского и подтверждены в последнее время лабораторными исследованиями инж. Лосиевского.

Приведенные положения, общие для всех протекающих в размываемых течением руслах, были установлены и формулированы еще в 1894 г. на упоминавшемся международном конгрессе по судоходству в Гааге и остаются в силе и в настоящее время.

Применение принципа непрерывности получило на упомянутом конгрессе и дальнейшее развитие. Оно вытекает отчасти и из первого положения — не нарушать сразу и резко естественного режима выправляемого участка реки.

Постепенная и последовательная, с интервалами во времени, постройка выправительных сооружений в некоторых случаях первоначально даже на неполную проектную высоту имеет целью, не внося сооружениями резких изменений в режим реки, постепенно способствовать созданию условий, благоприятных для образования внутренних течений необходимого типа. Постепенное развитие системы сооружений следует выполнять по мере выяснения результатов воздействия на поток уже построенных сооружений, составляющих часть этой системы, и, понятно, с учетом этого воздействия. Это дает основания целесообразнее наметить расположение, а в некоторых случаях и род самых сооружений.

Положение это, верное по существу, не всегда однако применимо. Целесообразность его не подлежит сомнению при выправительных работах на крупных реках: и технические и экономические соображения в этом случае заставляют признать его

¹ Установленный классическими исследованиями французского инженера Фарга на р. Гаронне. О результатах исследований инж. Фарга говорится далее.

правильность. Недостаточная изученность гидравлических факторов крупного значения и масштаба и обычно весьма значительные размеры капиталовложений при выправлении больших рек требуют сугубой осторожности. Поэтому при выправлении крупных рек выправительные работы следует подразделять на очереди, но так, чтобы каждая очередь работ представляла определенное целое. Так например, если имеются основания, хотя бы даже и не вполне доказанные, ожидать, что берего-укрепительные работы, заграждение побочных рукавов и землечерпание могут дать определенный, хотя бы и неполный по цели выправления, эффект, — в первую очередь следует назначить землечерпание, укрепление берегов и заграждение рукавов.

Второй очередью работ, если первая очередь не достигнет цели, будет постройка основных опорных русловых сооружений, костяка всей системы, т. е. сооружений наиболее важных и, если это по местным условиям не будет грозить большими осложнениями, размещаемых на предельно больших допускаемых расстояниях. Так например, могут быть построены русловые сооружения со стороны вогнутого берега, особенно около перевала на другой берег, а также и на самом перевале, а сооружения со стороны выпуклого берега, а также часть их по вогнутому следует перенести в третью очередь.

Наконец, в третью очередь, если и сооружения второй очереди не дадут совместно с землечерпанием устойчивого желаемого результата, следует, по согласованию с получившимися результатами и с характером воздействия на поток построенных сооружений, приступить уже к выполнению всей системы сооружений.

Технический проект полного выправления данного участка реки будет, строго говоря, техническим проектом только работ первой очереди. Для работ второй и третьей очередей это будет только ориентировочный проект, так как в процессе выполнения он неминуемо будет дополняться и видоизменяться.

Не следует однако думать, что можно ограничиваться лишь составлением проекта работ только первой очереди. Проектирующий должен уяснить себе всю картину выправления, например, переката, и дать отчет, как он думает разрешить задачу выправления полностью в предположении, что работы будут выполнены в последовательном порядке намечаемой им очередности. Те поправки, которые ему, вероятно, придется в процессе работ вносить в проект, покажут правильность или неправильность его проектных предположений и укажут, что именно и правильно ли он учел или не учел.

С другой стороны, разрешая задачу выправления данного переката или участка реки, проектировщик, хотя бы даже и ориентировочно, должен знать и предельный размер необходимых для этого капиталовложений, так как иначе он не в состоянии будет оценить экономический эффект проектируемых им работ.

При указанной постановке дела постройка выправительных сооружений должна сопровождаться и изыскательско-исследовательскими работами для подробного выяснения значения сооружений, построенных в каждой очереди работ, и характера их воздействия на поток.

При выправлении второстепенных, малых рек, где взаимодействие гидравлических факторов проявляется резче, где необходимо улучшение судоходных условий более быстрое, причем требования, предъявляемые к выправлению, значительно скромнее, а капиталовложения несравненно меньше, можно ограничиться при более крупных работах разбивкой их на две очереди, а при работах меньших размеров — выполнять их сразу.

Одним из положений, по мнению большинства гидротехников, общим для всех рек и не встретившим возражений на упомянутом международном конгрессе по судоходству, является обязательность сосредоточения меженных вод в одном русле. Это положение сохраняет свое значение и до настоящего времени¹.

Однако это положение нельзя признать правильным. При регулировании меженного потока обязательности в сосредоточении его в одном русле быть не может. Нередко это бывает даже нецелесообразно.

Допустим, что мы имеем русло, разделившееся на два рукава, судоходный и несудоходный, причем один рукав несколько больше другого. Каждый из рукавов, пропуская известный расход воды, перерабатывает поступающие в него транзитные и образующиеся в нем местные наносы. Предположим, что в судоходном рукаве имеется перекат, судоходные качества которого мы желаем улучшить выправлением. В этих целях, как одну из мер, мы применяем закрытие второго рукава.

Вследствие этого все наносы, поступавшие ранее в закрытый рукав, будут теперь поступать в рукав, который мы желаем улучшить. Увеличение в судоходном рукаве расхода воды вызовет увеличение скорости течения, которое может быть значительно, если русло рукава трудно размывается. При таком условии можно ожидать развития в рукаве неблагоприятных внутренних течений, вследствие чего улучшения переката не будет, а вероятнее ожидать ухудшение, так как отложение наносов усилится.

Если русло улучшаемого рукава легко размывается, то до восстановления бывших в нем ранее скоростей течения (вслед-

¹ "... Меженное русло лучше сохраняет постоянство своего расположения в плане, имеет менее резкие извилины стрежня и меньше разницы в глубинах на плесах и на перекатах в тех случаях, когда течение меженных вод сосредоточено в едином русле, т. е. без разделения на рукава, и когда уклоны поверхности воды более или менее равномерны, а берега русла очерчены по плавным кривым без резких перегибов и без длинных прямолинейных частей русла в переходах из одной извилины в другую". (Проф. Б. Н. Кандиба. Регулирование рек. Ленинград. 1927.)

ствии увеличения живых сечений рукава размывом) положение останется таким же, как и в первом случае, скорее — оно будет даже хуже, так как объем наносов, проходящих по рукаву, будет значительно больше, что дает основание при наличии внутренних неблагоприятных течений ожидать и большего отложения наносов.

Если один из рукавов естественно замирает, то заграждение его, в целях образования единого меженного русла, будет нецелесообразно, так как замирающий рукав является естественным складом наносов, в него поступающих. При заграждении такого рукава откладывающиеся в нем безболезненно для судо-

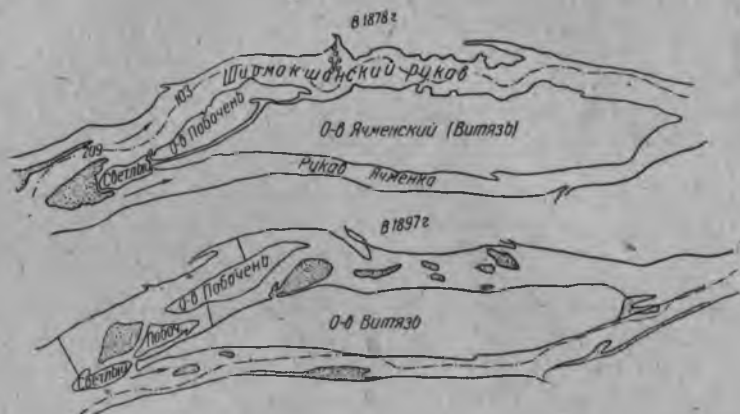


Рис. 64. Ширмокшанский и Ячменский рукава Волги.

вого хода наносы мы направим в судоходный рукав. Увеличение расхода воды в последнем, а вместе с тем увеличение скорости не гарантируют перемещения поступающих с этим расходом воды транзитных наносов без отложения в русле, так как одного увеличения скорости течения, как мы видели выше, еще недостаточно и для такого перемещения и для размыва русла.

Практика во многих случаях подтверждает это. Типичным примером может служить заграждение одного из рукавов на Волге в 100 км выше г. Горького (рис. 64). Здесь, около пос. Пучеж, Волга двумя крупными островами общей длиной в 11,7 км, с небольшим между ними протоком, делится на два рукава: Ширмокшанский и Ячменский. Судоходным рукавом издавна был Ширмокшанский, имевший в ширину 850 м, тогда как Ячменский был шириною только около 300 м. Ширмокшанский рукав постепенно обмелевал, имевшиеся на нем три переката разрастались из года в год и представляли все более и более значительные препятствия судоходству. Глубина на нем падала в межень до 70 см, и судовой ход отличался большой извилистостью. Ячменский рукав, наоборот, постепенно разрабатывался.

Попытки улучшить судоходные условия при помощи землечерпания и применявшихся в то время подвижных плотин успехом не увенчались.

Тогда решено было заградить Ширмокшанский рукав и проток между островами и построить струераздельную дамбу от ухвостья нижнего острова вниз, чтобы урегулировать слияние рукавов в нижней их части.

Сначала (1886—1887 гг.) была построена струераздельная дамба, затем в 1888 г. был загражден проран между островами, а в 1889 г. построили дамбу, заградившую Ширмокшанский рукав. Дамба была расположена в начале рукава и первоначально (в 1889 г.) построена на половину высоты. В 1891 г. она была достроена на полную высоту, на 0,70 м выше меженного горизонта.

Хотя на произведенные работы смотрели лишь как на начало исправительных работ, но на этом работы и закончились.

Сначала Ячменский рукав несколько углубился, но затем на нем стали появляться перекаты и потребовалась помощь землечерпания. В 1897 мелководном году на нем было три мелких переката, а далее число их стало расти и через 10 лет их уже

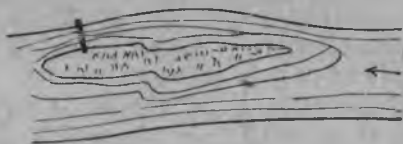


Рис. 65.

насчитывалось шесть, причем судовой ход кроме недостаточной глубины на перекатах представлял еще затруднения для плавания своей извилистостью. В результате судовой ход по Ячменскому рукаву, несмотря на то, что рукав этот был почти втрое уже Ширмокшанского, стал даже хуже, чем ранее был по Ширмокшанскому рукаву.

Таким образом заграждение широкого рукава и значительное вследствие этого увеличение расхода воды, а стало-быть (при данных соотношениях ширины рукавов), и скоростей течения в более узком рукаве углубления последнего не вызвали.

В таких случаях, когда оба рукава одинаково живут, т. е. тенденции к отмиранию у них не наблюдается, но оба они представляют затруднения для судоходства, причем углубление мелей землечерпанием в одном из них, судоходном, лишь временно улучшает судоходные условия, требуя повторения, заграждение другого рукава может принести пользу. Однако при этом необходимо: а) располагать заграждающее сооружение обязательно в нижней, считая по течению, части рукава (рис. 65), а никак не в верхней, и б) возводить это сооружение не сразу на полную высоту, а постепенно, в три-четыре периода.

Располагая запрудой в нижней части рукава и повышая ее постепенно, мы наименее резко нарушаем естественный быт реки. Затем наносы, поступающие в заграждаемый рукав ранее, будут поступать попрежнему и отлагаться, причем донные наносы будут задерживаться. По мере отложения наносов около

запруды ее следует повышать, постепенно доводя до проектной высоты. Таким путем поток постепенно как бы привыкнет к нарушению своего быта, а в судоходном рукаве в то же время при помощи землечерпания, если оно потребуется, можно будет создать условия, соответствующие образованию благоприятных внутренних течений.

В более редких случаях, когда русло делится на три рукава, необходимость в заграждении одного или двух рукавов может возникать чаще, так как обыкновенно при таком положении чаще всего ни один из рукавов не представляет удобств для судоходства и, возможно, ни один не имеет тенденции к отмиранию. Наоборот, обыкновенно наблюдается, что то один, то другой рукав несколько улучшается в судоходном отношении, и судовой ход в одну навигацию приходится пролагать по одному рукаву, а в следующую навигацию по другому, причем и глубина и плановое расположение судового хода бывают неудовлетворительными.

При такой неустойчивости заграждение одного, а иногда и двух рукавов часто оказывается целесообразным.

На основании приведенных соображений можно считать, что сосредоточение меженного потока при выправлении в одном русле не может и не должно быть обязательным. Этот вопрос должен разрешаться в каждом отдельном случае выправления в зависимости от бытовых условий выправляемого участка реки.

Необязательно также, как упоминалось выше, и совпадение направления течений при высоких и меженных уровнях стояния воды в реке.

С одной стороны, наблюдения дают известные основания считать, что если при высоких и меженных уровнях реки направление и форма течений не меняются, то глубины русла сохраняются. Простейшим примером такого положения является наблюдаемое и в натуре расположение течения при всех уровнях воды вдоль вогнутого незатопляемого ведущего берега. В этом случае при меженных низких уровнях реки на таком участке русла будут образовываться внутренние течения комбинированного типа, перемещающие наносы к мелкому берегу. При высоких уровнях, с увеличением глубины и скорости течения, здесь будут уже внутренние течения второго или смешанного типа.

С другой стороны, наблюдения также показывают, что и при несовпадении направления течения высоких и меженных вод, — а это является обычным для большей части равнинных рек, — глубины на многих перекатах после спада высоких вод не уменьшались. Не уменьшалась и глубина плесов. Между тем, применение искусственных мер к обеспечению совпадения направлений течения высоких и низких (меженных) вод требует значительных капиталовложений. Перекаты и перевалы как естественные плотины (донные), отделяя один плес от другого и создавая в вышележащем плесе подпор, способствуют сохранению в плесах глубин и хорошего планового расположения судовых ходов

при сравнительно небольших скоростях. Поэтому, целью выправления должно являться не уничтожение перекатов, а обращение их в перевалы, с доведением глубины на них до размеров глубин перевалов. Уничтожение перекатов вызвало бы нежелательные осложнения в виде понижения горизонтов воды в плесах, значительного уменьшения на них глубин и нежелательного перераспределения внутренних течений с образованием более значительных мелей.

Ввиду этого следует при помощи выправления стремиться не к уничтожению перекатов и обращению их в плесы, а к созданию на них условий образования таких внутренних течений, при которых отложения наносов при высоких уровнях происходили бы в меньшем объеме и наиболее размывались бы потом по судовому ходу при спаде воды и при меженных горизонтах, обеспечивая необходимую глубину для судоходства. В соответствии с этим и выправительные сооружения должны оказывать наибольшее влияние на поток при меженных и низких уровнях, наименее влияя на течение высоких вод, что и должно достигаться выправлением меженного русла, т. е. при меженных уровнях.

§ 24. Расчетный уровень реки. Выправительная трасса и ее расположение в плане. Законы Фарга

На магистральных речных путях каждые несколько сантиметров глубины имеют большое значение. Поэтому при выправлении таких путей за расчетный или проектный горизонт воды, при котором желают получить необходимую для судоходства глубину, принимают самый низкий из наблюдавшихся в течение многих лет низких навигационных уровней.

На речных путях второстепенного значения, где грузооборот значительно меньше, за проектный горизонт можно принимать средний из наиболее низких навигационных уровней за многолетний период, так как самые низкие уровни обычно держатся небольшое число дней, а принятие их за проектный горизонт может дать несоответствие затрат с экономической эффективностью выправления.

Определив расчетный (или проектный) горизонт воды, затем устанавливают уровень, до которого целесообразно возвышать сооружения, т. е. определяют высоту берегов меженного русла. За такой уровень принимают в большинстве случаев тот, длительность стояния которого в течение многолетнего периода составляет не менее 50%. Такой уровень соответствует зоне хорошего развития растительности, что важно как для прорастания рассад по откосам берега, так и надводных частей сооружений, если последние делаются из хвороста.

Наконец необходимо установить еще горизонты самого высокого, так называемого катастрофического уровня воды, среднего из высоких и уровней: ледоходов — высокого и наиболее часто повторяющегося весеннего, а также ледостава.

Расположение трассы в плане. Главнейшие затруднения для судоходства, которые оно встречает на судоходных реках, остающихся в естественном состоянии, — это недостаточные глубины и неудобное плановое расположение судового хода на перекатах. Последнее иногда встречается и на плесовых участках, обычно в виде слишком крутых изгибов судового хода, расположенного у вогнутого берега.

Крутые изгибы судового хода, будут ли они на перекате или на плесе, одинаково неудобны для судоходства, так как не всегда даже самоходное судно, идущее одно, без каравана на буксире, может пройти их без особых маневров, отнимающих время и иногда даже небезопасных, в особенности на перекатах. Буксируемые вozy судов не могут проходить по крутым извилинам судового хода, в которые они не могут быть вписаны, и потому вozy приходится расчаливать и проводить



Рис. 66. Выправительная трасса.

суда по одному или же спускать их на якорях и подаваемых на берег буксирных канатах.

Нередко судовый ход на перекатах, а иногда и в плесах, у вогнутых берегов, бывает настолько узок, что не дает возможности разойтись

двум судам или двум вoзам. Поэтому при выправлении прежде всего необходимо уяснить себе, как, по каким плавным кривым должен располагаться в плане судовый ход, а в связи с ним и береговые линии русла.

Правильное, т. е. плавное, без резких изгибов и выступов расположение в плане береговых линий русла по пологим кривым, плавно между собой соединяющимся, должно отвечать плановым формам естественно хороших в судоходном отношении плесовых участков реки. При таком условии и на выправленном участке плановая его форма будет способствовать при меженных и низких уровнях образованию благоприятных для поддержания хороших судоходных условий внутренних течений.

Линии, обозначающие при принятом расчетном уровне реки проектное очертание в плане берегов выправляемого участка, ограничивают площадь поверхности воды или, как часто говорят, водного зеркала выправляемого участка. Эта площадь и носит название выправительной трассы, а ограничивающие ее линии называют границами трассы (рис. 66).

Границы трассы могут располагаться как по откосам берегов, так и очерчиваться выправительными сооружениями. В том и другом случаях они представляют следы пересечения откосов берегов или откосов, а иногда гребней сооружений¹ с плоскостью водного зеркала.

¹ Выправительные сооружения возвышаются над расчетным уровнем.

Как указывалось выше, при выправлении следует руководствоваться примерами прилежащих к выправляемому перекату хороших в судоходном отношении плесовых участков. Это значит, что надо за образец брать плановые формы естественно выработавшейся трассы на плесовых участках, однако же не слепо их копируя, а используя в соответствии с требованиями судоходства и бытовыми условиями выправляемого участка.

Для удобного движения судов по изгибам трассы радиус ее, как показывает практика, должен быть для движения одиночных судов не менее шестикратной длины судна средних размеров, а для движения буксирными возами — не менее девятикратной длины такого же средних размеров судна¹. Размеры судов следует принимать с учетом возможного увеличения их размеров в связи с улучшением выправляемого пути.

При выправлении переката необходимо обеспечивать подходы к нему со стороны выше- и нижележащих плесов. Поэтому выправление не ограничивается узким районом расположения только переката, а охватывает, если идти по течению, и подход к перекату и выход с него.

Если приходится выправлять группы близко лежащих один к другому перекатов, то нередко представляется необходимым распространять выправление и на промежуточные плесы.

Так как русло в вогнутых частях почти всегда имеет достаточные судоходные глубины, то при проектировании трассы вогнутое положение, конечно, необходимо сохранять, избегая по возможности такого расположения изгибов меженного русла в плане, при котором они могут пересекаться под большим углом с преобладающим направлением течения высоких вод. Это помогает более устойчивому их углублению самим течением.

Проектируя выправительную трассу, необходимо учитывать и ледовой режим, особенно характер весеннего ледохода с момента первой подвижки как в границах выправляемого участка, так и в прилегающих к нему участках реки во избежание возможности образования заторов льда в изогнутых частях выправляемого русла. Необходимо учитывать и зажоры шуги.

Развивая, если понадобится, в подобных случаях кривизну трассы, т. е. смягчая ее, не следует переходить известных пределов, которые можно установить по сравнению с границами развития кривых в хороших плесовых участках.

Так же осторожно надо подходить и к спрямлению извилин. Укорачивая этим длину кривой, мы вызываем увеличение скорости течения, что может вызвать образование нежелательных внутренних течений.

Следует заметить, что сокращать число извилин на выправляемом участке (например, при выправлении плеса между пере-

¹ Эти радиусы достаточны и для удобного движения плотов, так как плоты по своей конструкции могут при надобности на ходу принимать изогнутое положение.

катами) не следует. Иногда, наоборот, бывает целесообразно увеличить число перевалов, чтобы надежнее обеспечить сохранение глубокого судового хода.

Что касается расположения трассы на перевалах и на перекатах, то и здесь приходится руководствоваться примерами хорошо разработавшихся устойчивых перевалов. Русло имеет на них достаточно симметричное поперечное сечение, сравни-

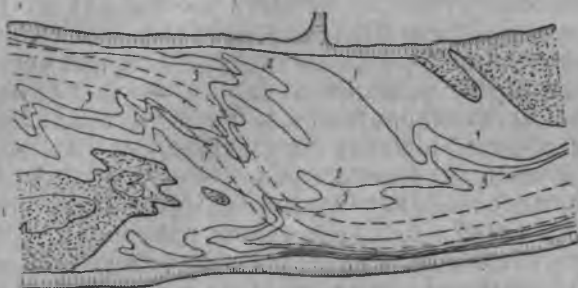


Рис. 67.

тельно близко подходящее к параболе, и располагается, считая по течению, в верхней и нижней своих частях, равных на реках средней величины примерно одной трети длины всего перевала, по пологим кривым (рис. 67). Эти кривые соединяются

обычно прямой вставкой. Если такой вставки нет, то это плохие и значительно более трудные для судоходства перевалы, так как буксирному возу при переходе с одной кривой на другую трудно, а иногда и невозможно выровняться.

Кривой участок входной части трассы, считая по течению на перекат, должен начать отклонение к середине перевала несколько ранее конца верхней плесовой ложбины. Далее кривая должна иметь постепенно, но медленно увеличивающийся радиус кривизны, заканчиваясь, не доходя до середины перевала, примерно на траверсе конца косы противоположного берега и переходя здесь в прямую вставку. Нижняя изогнутая часть трассы должна пересечь нижнюю ложбину несколько ниже ее верха, плавно соединяясь с ее берегом и являясь своей левой границей как бы продолжением этого берега. Подходя с медленно увеличивающимся радиусом кривизны к прямой вставке, трасса соединяется с последней, не доходя до середины перевала.

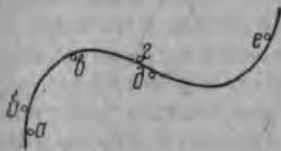


Рис. 68.

Основной линией трассы является ее граница, проходящая вдоль вогнутых берегов. В хороших, уже установившихся плесовых участках эта линия представляет кривую с радиусом кривизны, постепенно изменяющим свою величину от бесконечно большой в местах сопряжения с вышележащим выпуклым берегом (побочнем) до наименьшей своей допускаемой величины в вершине кривой, находящейся несколько ниже по течению середины вогнутого берега. Такой форме кривой наиболее отвечает синусоида, но практически границы трассы лучше очерчивать по изгибу упругой линейки. Делается это следующим обра-

зом. Наметив на плане выправляемого участка линии перехода выпуклой части берега в вогнутую (короткая прямая вставка *ab* и *gd*, рис. 68), продолжаем эти вставки до взаимного пересечения. На вогнутой части берега *ad* намечаем несколько ниже ее середины точку *v*, в которой радиус кривизны должен иметь наименьшую величину. Закрепив во всех этих точках шпильки, ставим по ним упругую линейку и вычерчиваем кривую. Таким же способом очерчивается следующая вогнутость и т. д. Вторая граница трассы, отвечающая выпуклым берегам, очерчивается также по упругой линейке по точкам, которые назначаются в зависимости от ширины проектной трассы. Что касается начертания трассы на перевале, то здесь удобнее применять уже лекалы, руководствуясь в ее назначении приведенными выше указаниями.

На основании подробных, почти пятидесятилетних наблюдений над р. Гаронной (Франция) с проверкой их лабораторными исследованиями французский инженер Фарг вывел чисто эмпирические зависимости между очертаниями русла в плане и продольным профилем ее дна¹.

Изобразив прямой линией фарватер исследованного участка, Фарг принял его за ось абсцисс и откладывал на ней вниз километрическую кривизну вогнутых берегов (частное от деления единицы на радиус кривизны в километрах), независимо от ее знака (в соответствии с стороной берега, правой или левой), взятую с плана по поперечным профилям (профили были через 1 м). Затем откладывались глубины в тех же точках, взятые с продольного профиля. Таким образом получилась сравнительная диаграмма (рис. 69). Кривая, показанная толстой сплошной линией, имеет прямолинейные участки нулевой кривизны и прерывается. Прерывность однако не свойственна подобным явлениям и можно поэтому, отнеся ее за счет случайных отклонений, заменить кривую кривизны непрерывной кривой, касающейся вершинами оси абсцисс (кривая эта показана на рис. 69 сплошной тонкой линией). Точно так же придается плавное начертание кривой глубин (тонкая пунктирная линия). Пониженные части обеих кривых соответствуют точкам наибольших глубин — плесовым ложбинам, а повышенные — перекатам. Полный

¹ „La forme du lit des rivières à fond mobil, par. L. Fargue“ Paris. 1908. Наблюдения производились на участке р. Гаронны в 22 км длиной между г. Жирондой и Барзаком с 1863 г. почти до 1920 г.

Длина вогнутых и выпуклых кривых колебалась от 170 до 190 м. Ширина реки в среднем 180 м с небольшими отклонениями (только в одном месте у впадения притока Дро — 250 м). В межень среднее падение на километр 0,23 м, колеблющееся от 0,07 м (на плесах) до 0,65 м — на перекатах, занимавших в общем 25% длины всего участка. Ложе реки песчано-гравелистое, причем песка было от 50 до 70%. Каменные гряды были более чем на 2 м ниже меженного уровня. Головной (передний) откос перекатов и мелей покрыт булыжным камнем и крупной галькой. Средняя часть перекатов покрыта песком и гравием в равных долях, а нижняя по течению — песчаная.

Кроме того, было исследовано несколько небольших речек.

период обеих кривых соответствует участку реки, обнимающему плес и пережат. Построив ряд таких диаграмм для различных участков реки и, проверив их на модели, Фарг выяснил, что отступлению линии кривизны от плавного очертания кривой соответствует отступление от плавного вида и линии глубин; чем больше первое отклонение, тем больше и второе. Отсюда Фарг заключил, что плавному виду кривой кривизны должна отвечать и плавная кривая линии глубин.

Дальнейшее подробное сравнение глубин, длины кривых и их кривизны привело Фарга к следующим выводам, которые он назвал эмпирическими законами.

1. Наибольшая глубина находится ниже по течению вершины кривой вогнутого берега в расстоянии, равном приблизительно одной пятой длины кривой¹.

Наибольший выступ отмели у выпуклого берега находится непосредственно ниже по течению вершины выпуклой кривой (закон смещения).



Рис. 69.

2. Глубина у вогнутого берега тем больше, чем больше кривизна в вершине кривой (закон глубины).

3. Для обеспечения наибольшей глубины как максимальной, так и средней кривая вогнутого берега не должна быть слишком короткой или слишком длинной (закон развития).

4. При одинаковой длине кривых средняя глубина плеса будет тем

больше, чем больше величина внешнего угла касательных к концам кривых (закон внешнего угла).

5. Продольный профиль по судовому ходу будет тем правильнее, чем плавнее и постепеннее изменяется кривизна русла (по оси его). Всякое резкое изменение этой кривой вызывает резкое же изменение глубин (закон непрерывности).

6. Если кривизна русла в плане изменяется непрерывно, то уклон дна судового хода определяется наклоном касательной к кривой кривизны (закон уклона дна).

Фарг указывает, что эти законы установлены на основании наблюдений не только на р. Гаронне, но и на многих других реках, и на этом основании высказывает предположение, что они могут быть признаны общими для всех рек.

„Законы“ Фарга (сохраняем название, данное Фаргом, — по существу это зависимости) выведены чисто эмпирическим путем без всякого учета рода грунтов, слагающих русло рек, и

¹ При хорошо разработавшихся плесах, пришедших во вполне устойчивое состояние, наибольшая глубина плеса, как это указывает Фарг, располагается ниже вершины кривой на 0,25 ее длины. Величины отношения длины смещения к длине кривой, 0,20 и 0,25, Фарг называет коэффициентами смещения. Для р. Гаронны смещение колебалось в пределах от 134 до 479 м. Надо отметить, что на наших равнинных реках подобные смещения значительно короче.

характера их влияния на течение. Поэтому в приложении к ряду рек они дают часто значительные отклонения и нередко оправдываются только частично.

Современные наши знания гидравлических условий быта рек далеко еще не достаточны, и дать гидравлическую базу законам Фарга и таким путем проверить их мы пока не можем. С механической точки зрения законы эти объяснимы, но только для рек, протекающих в русле, сложенном из совершенно однородного грунта и в условиях одинаковой размываемости.

Это однако не умаляет значения и ценности „законов“ Фарга, так как они все-таки устанавливают, хотя бы и для условной реки, важные соотношения между рельефом русла и плановыми его очертаниями и этим значительно облегчают во многих случаях понимание и изучение быта рек.

Основываясь на выведенных им законах, Фарг рекомендует назначать выправительную трассу (рис. 70) по последовательно чередующимся вогнутым и выпуклым кривым, лемнискатам, соединяя их короткими прямыми вставками.

Кривизну он считает необходимым изменять непрерывно от нуля у начала кривой (при примыкании ее к прямой вставке) до максимума у вершины кривой, откуда кривая должна идти, также непрерывно изменяя кривизну до нуля у новой прямой вставки.

Порядок такого трассирования подтверждается и расположением естественно выработавшихся трасс в хороших с судоходной точки зрения плесах. Он применяется при выправлении, но, конечно, с рядом отступлений, вызываемых местными бытовыми условиями выправляемого участка. В некоторых случаях прямых вставок между кривыми делать не приходится, в других случаях эти вставки получают значительную длину, причем кривые, как указывалось выше, практичнее проектировать по упругой линейке.

Точки перехода от кривой вогнутой к выпуклой и обратно, располагающиеся на противоположных берегах, не должны, по мнению Фарга, лежать на одном и том же поперечном профиле. Точка перехода на одном берегу вогнутой кривой в выпуклую должна располагаться (рис. 70, точка 1) выше по течению, чем точка перехода выпуклой кривой в вогнутую на противоположном берегу (рис. 70, точка 2). Говоря иначе, если идти по течению, точка перехода вогнутого берега в выпуклый должна предвещать на трассе переход от противоположного выпуклого берега в вогнутый.

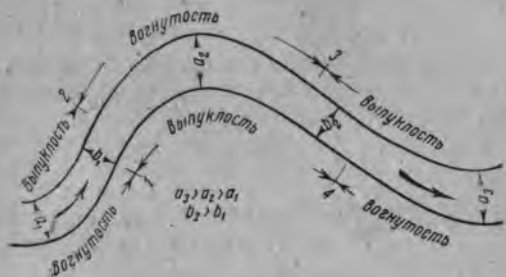


Рис. 70.

Во многих случаях это совпадает с расположением естественно вырабатывающихся трасс в установившихся плесах, но также нередко встречается и обратное чередование точек перехода кривых. Повидимому, предпочтительного значения рекомендуемому Фаргом порядку последовательного расположения точек перехода кривых придавать нельзя.

Руководствуясь четвертым законом, Фарг рекомендует в целях достижения более значительных глубин при равных длинах кривых располагать трассу так, чтобы угол между касательными к концам кривых был больше, т. е. рекомендует кривые делать пологими. Этот вывод не всегда и не при всех условиях подтверждается, и в большинстве случаев длину кривых приходится устанавливать в зависимости от местных топографических условий, учитывая при этом и требования судоходства.

До сих пор мы говорили о расположении выправительной трассы в плане, не касаясь совершенно ее ширины. Необходимо иметь в виду, что избранная ширина трассы во многом влияет на расположение ее в плане и поэтому, намечая трассу, этого не следует упускать из виду.

§ 25. Ширина трассы и радиусы кривизны. Глубина выправленного русла. Профили живых сечений

Как при проектировании расположения выправительной трассы в плане, так и при определении ее ширины и глубины в конечном счете приходится руководствоваться теми плановыми размерами и той глубиной, которую мы наблюдаем в натуре как на установившихся плесах, так и на перевалах, а также требованиями судоходства.

Меженное русло, если считать по водному его зеркалу (по урзу), на плесах обыкновенно шире, чем на перекатах, но подходя к перекатам суживается, затем на перекатах расширяется, переходя в плесовый участок снова суживается и далее в плесе опять расширяется. Такая картина наблюдается на участках рек, на которых перекаты располагаются на значительном расстоянии один от другого, т. е. когда плесовые участки имеют значительную длину, не менее нескольких километров. В тех же случаях, когда перекаты располагаются близко один от другого или группами, ширина плесовых участков между ними (считая по водному зеркалу) почти всегда бывает меньше, чем ширина русла на перекатах, как это можно видеть, например, на рис. 71. При делении меженного русла на рукава ширина плесовых участков также бывает обычно меньше, чем ширина русла на перекатах. Иногда ширина русла обоих рукавов бывает меньше, чем ширина русла на перекате, располагающемся в судоходном рукаве. Такой пример мы видим на Карташихинском перекате р. Волги (рис. 72).

Во всех этих случаях каждому плесовому участку реки свойственна лишь ему присущая ширина меженного русла, которой

и приходится руководствоваться (но не слепо следовать) при назначении ширины трассы, применяя ее при выправлении плесовых участков и на подходах к перекатам.

На каждом установившемся плесе ширина также не однообразна: она то уменьшается, то увеличивается в зависимости от бытовых условий плеса. Так как длинные плесы состоят из ряда криволинейных участков, то на каждом участке будет свой максимум и свой минимум ширины русла.

Минимум ширины на криволинейных участках плеса обыкновенно бывает между точками наибольшей кривизны вогнутого берега и точкой наибольшего выдвижения в русло побочня у выпуклого берега. При длинных плесовых участках разница в ширине меженного русла в различных его точках обычно незначительна.

При коротких плесах русло имеет (считая по водному зеркалу) наименьшую ширину также между точками наибольшей

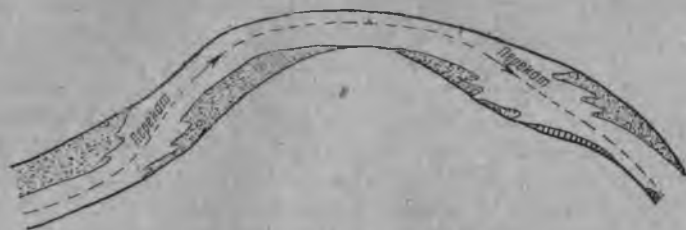


Рис. 71.

кривизны вогнутого берега и наибольшего выдвижения побочня выпуклого берега, но нередко и в последней точке.

Таким образом установившиеся плесы имеют в естественном состоянии различную ширину русла, и говорить поэтому о „нормальной“ ширине русла плесов представляется неправильным. Речь может идти только о средней ширине плесового русла. Ее необходимо определять по ширине водного зеркала при расчетном (принятом для проекта) уровне реки, как среднюю по всему плесу, исключив из расчета большие уширения и сужения русла, вызываемые особыми местными причинами, как, например, впадением притока, островами и т. п.

Величиной этой средней ширины и следует руководствоваться при проектировании выправительной трассы, если приходится выправлять плесы и подходы к перекатам.

При проектировании выправительной трассы для перекатов надо руководствоваться шириной естественно установившейся трассы на устойчивых благоприятных для судоходства перевалах.

Некоторые перевалы располагаются в межень между соответственно изогнутыми берегами, т. е. имеют ясно выраженное меженное русло, другие явно выраженного русла не имеют и определяются лишь направлением изобат (линий равных глубин).

Перевалы и в том и в другом случаях составляют, как уже

упоминалось, из двух последовательно расположенных криволинейных частей, при начале и конце перевала обращенных кривизной в противоположные стороны и соединенных прямой вставкой, достигающей у больших рек иногда значительной



Рис. 72. Карташихинский перекал на Волге.

длины. В прямолинейной своей части перевалы имеют почти однообразную ширину. Изменения ее, вызываемые расположением (сближением или расхождением) заструг, почти всегда незначительны. При входе на перевал, считая по течению, и спуске с него ширина увеличивается.

Трассу выправляемых плесовых участков или частей их, необходимо проектировать не однообразной ширины, а следуя примеру естественных трасс, т. е. меженного русла, давать отдельным участкам различную ширину.

Определенную среднюю ширину меженного русла хороших плесовых участков следует для проектируемой трассы принять за минимальную. Такую ширину проектируемое русло должно иметь несколько ниже точек наибольшей кривизны вогнутых кривых, причем величина этого смещения должна примерно быть такой же, как и на хороших плесовых участках, близких по бытовым условиям к выправляемому. Определить величину смещения следует по планам последних съеомок, точно так же как и предельную степень увеличения ширины русла выше и ниже точки минимальной ширины.

Выправляемый плес может примыкать либо к перевалам, либо к перекатам, или наконец с одной стороны к перевалу, а с другой — к перекату. Во всех случаях соединение выправительной трассы с трассами перевалов и перекатов должно быть плавное, без сколько-нибудь резких изменений. На профилях соединений трасс, если выправляется только плес, ширина трасс перевала или переката, на подходах к ним, определит и ширину выправительной трассы плеса. Эта ширина должна быть увязана с проектной минимальной шириной выправительной трассы так, чтобы переход от минимальной ширины к ширине примыкания совершался плавно и непрерывно.

Если выправляется перекат, то проектируемая трасса должна иметь ширину на прямолинейной своей части такую, какую имеют устойчивые перевалы, близкие по бытовым условиям к выправляемому перекату. Эта ширина должна также определяться как средняя на прямолинейной части перевала. Ширина трассы на подходах к перекату должна быть согласована с шириной естественного русла на ближайших частях соседних с перекатом плесов. Проектируемая выправительная трасса переката должна плавно, без скачков, примыкать к естественно установившейся трассе соседних плесов.

При подобных увязках ширины трассы на подходах к перекатам иногда приходится идти путем постепенного приближения к установлению планового расположения трассы, чтобы добиться плавного перехода ее с плеса на перекат и с переката на плес.

Само собой разумеется, что минимальная ширина выправительной трассы должна быть достаточна для свободного встречного движения судов не только для данного времени или ближайших к моменту выправления лет, но и в перспективе по крайней мере ближайших двух пятилетий.

Выше было указано, что за минимальную ширину выправительной трассы следует брать не наименьшую ширину меженного русла хорошего плеса или перевала, а среднюю ширину. Такое повышение ширины трассы делается в тех целях, чтобы не стеснять излишне живых сечений, так как на более значитель-

ном протяжении реки естественная ширина меженного русла всегда бывает больше минимальной. Кроме того, всегда легче уменьшить большую ширину, чем увеличивать ширину недостаточную, особенно если русло ограничено сооружениями.

По самой природе рек как в естественном их виде, так и при выправлении, выправительная трасса, т. е. выправленное меженнее русло, отвечающее расчетному горизонту, не по всей своей ширине будет иметь одинаковую глубину. В средней части русла будет проектная глубина, а около берегов она будет меньше. Та часть трассы, которая будет иметь проектную глубину, называется судовым ходом или судоходной трассой. Эта трасса и должна иметь такую ширину, при которой возможно встречное свободное движение судов и буксирных возов.

Твердых установок относительно ширины судового хода для рек различных категорий нет, поэтому приводимые далее величины ширины судовых ходов следует считать ориентировочными.

Для рек магистрального значения минимальная ширина судового хода должна быть достаточна для одновременного движения двух средней ширины буксирных возов и двух средней ширины грузопассажирских пароходов. Если по реке имеется плотовое движение, то в числе двух буксирных возов один должен быть с самым широким плотом.

Наименьшая ширина судоходных путей I категории должна быть достаточна для свободного одновременного движения двух буксирных возов средней ширины и одного средней ширины грузопассажирского парохода.

На реках II категории минимальная ширина судоходной трассы должна быть достаточна для одновременного движения двух буксирных возов средней категории, на всех остальных реках минимальная ширина судового хода должна быть достаточна для одновременного движения буксирного воя средних размеров и одного грузопассажирского парохода средней ширины.

Размеры судов, как уже указывалось, должны приниматься в расчет с учетом развития судоходства, а в связи с ним и типов судов в перспективе ближайших двух пятилетий.

Обозначив ширину несамоходного судна средних размеров через B_1 , ширину среднего по величине грузопассажирского парохода — через B_2 , ширину плота наибольших по ширине размеров — через B_3 и ширину судового хода — через b , принимая интервалы между воями и судами равными ширине среднего судна B_1 , а между судами и крайними границами судового хода равными половине ширины несамоходного судна средних размеров, т. е. $B_1 : 2$, получаем:

для магистральных путей

$$b_1 \geq 8 B_1 + 2 B_2,$$

а если есть движение плотов, то

$$b_1' \geq 6 B_1 + 2 B_2 + B_3.$$

Для путей I категории

$$b_2 \geq 7 B_1 + B_2;$$

при плотовом движении

$$b_2' \geq 5 B_1 + B_2 + B_3.$$

Для рек II категории

$$b_3 \geq 6 B_1;$$

при плотовом движении

$$b_3' \geq 4 B_1 - B_3$$

и для остальных рек

$$b_4 \geq 4 B_1 + B_2.$$

Что касается радиусов кривизны криволинейных частей судового хода, то принятые нами величины радиусов кривизны для выправительной трассы обеспечивают необходимую пологость криволинейных частей и судового хода, который вписывается в выправительную трассу почти параллельно ее граничным линиям.

Переходя к вопросу о размерах глубины судоходной трассы, надо заметить следующее.

Наименьшие глубины на реках всегда бывают на перекатах. Глубина переката всегда нормирует транзитную глубину судоходных рек. Если исключить из рассмотрения перекаты, то наименьшая глубина оказывается на перевалах.

При увеличении на реке транзитной глубины на многих перевалах может оказаться недостаточная глубина и они, в силу этого, получат название перекатов. Таким образом деление мелких мест на перевалы и перекаты в сущности условно. Однако же пока перевалы имеют глубину больше требуемой условиями судоходства, по крайней мере на ближайшее 10-летие, мы можем считать, что глубина, которую мы должны при помощи выправления и землечерпания получить на перекатах, это глубина перевалов.

Зная за ряд лет глубины в межень на перевалах, близких по бытовым условиям к перекату, который необходимо выправить, мы можем установить глубину перевала при расчетном уровне и принять ее за расчетную или проектную глубину.

Получение более значительной глубины, чем имеющаяся на перевалах, потребует углубления перевалов, что и следует иметь в виду, так как это вызовет новые работы, т. е. увеличение капиталовложений. Последнее же может привести к нерентабельности выправления и к необходимости применения других, более выгодных способов улучшения судоходных качеств реки.

Если глубина на перевалах при самом низком навигационном уровне больше, чем требуется судоходством, то проектную глубину следует назначить в соответствии с требованиями судо-

ходства, учтя возможное увеличение размеров судов в перспективе ближайшего десятилетия.

Глубину, которую можно получить на перекате выправлением, иногда определяют и теоретическим путем при помощи формул гидравлики.

На перевалах и на более благоприятных перекатах меженнее русло имеет в поперечном сечении форму, близко подходящую к квадратной параболы (рис. 73).

Если, например, для перевала, находящегося в бытовых условиях, близких к выправляемому перекату, нам известны при расчетном горизонте расход воды Q , глубина T , средний поверхностный уклон i , ширина русла по водному зеркалу b и уклон естественного откоса берега у уреза $\beta = \text{ctg } \alpha$ (рис. 73), то по свойству квадратной параболы $\beta = \text{ctg } \alpha = \frac{b}{4T}$, а средняя глубина живого сечения, являющаяся проектной глубиной, $t = \frac{2}{3} T$. Из этих

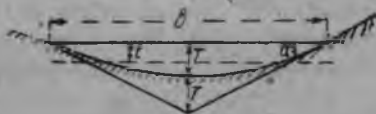


Рис. 73.

выражений, зная, что площадь живого сечения $\omega = bt$, мы получаем $b = 6\beta t$.

Мы знаем, что $Q = \omega \cdot v$. Так как $\omega = bt$ и $v = c\sqrt{ti}$, то

$$Q = btc\sqrt{ti},$$

или, подставляя сюда вместо $b = 6\beta t$ и определяя t , получим предельную величину средней глубины, которую мы можем достигнуть на выправленном перекате:

$$t = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{(6\beta c)^3} \cdot \frac{1}{i}}.$$

Минимальную же ширину русла, зная t , получим из $b = 6\beta t$.

Выражаемые примененными здесь гидравлическими формулами зависимости в значительной степени условны, как условно и применение параболического профиля, почему результаты подсчетов дают только весьма приблизительные значения для расчетных глубин и ширины трассы.

Инж. Крейтер (F. Kreuter. Der Flussbau. 1921), считая, что поперечное сечение меженного русла ближе всего напоминает трапецию, дает свой способ для определения такого профиля при выправлении для желаемых горизонтов стояния воды в реке. Он дает такой же способ и для расчета двухрусного трапециoidalного русла, вмещающего высокие воды. Расчеты для рек, богатых наносами, Крейтер основывает на теории влечения наносов, разработанной Дюбуа (Du Boys).

Так как метод расчетов инж. Крейтера также не свободен от условностей и весьма сложен, мы на нем не останавливаемся, тем более, что по результатам он не более точен, чем приведенный выше несравненно более простой способ определения проектной глубины и ширины.

Зная проектную ширину трассы, ширину судового хода и его глубину, мы можем уже более точно наметить и положение судоходной трассы на профилях живых сечений выправляемого участка или переката.

На рис. 74 показан схематически теоретический профиль живого сечения прямолинейной части трассы на выправленном перекате или плесе, ограниченный поперечными (по отношению к течению) выправительными сооружениями. Судоходная трасса или судоходный ход (иногда называемый фарватером) заштрихован.

Расстояние между границами судового хода и граничными линиями выправительной трассы (рис. 74) не должно быть менее $l_0 = (5t + 10)$ метров, по следующим соображениям. Прежде всего границы судового хода, по которым может при движении располагаться судно своим бортом, должны быть отдалены от выправительных сооружений для обеспечения судов от

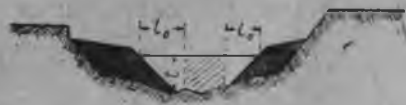


Рис. 74.



Рис. 75.

ударов о сооружения. Затем на длину $5t$ в пределы выправительной трассы могут вдаваться откосы голов поперечных выправительных сооружений (откосам голов сооружений, как увидим далее, дается обыкновенно уклон до 1:5). Наконец необходимо иметь возможность уложить перед головами сооружений донный тюфяк шириною до 10 м без риска, что он может быть поврежден судовыми якорями.

В изогнутых частях трассы ширина ее по водному зеркалу при расчетном горизонте, как мы уже упоминали, будет различна. Иным будет и положение судового хода по отношению к границам выправительной трассы. Мы знаем, что в вогнутых частях наибольшие глубины в живом сечении располагаются у вогнутого берега и живое сечение русла будет иметь форму, близкую к треугольной (рис. 75). В пределах больших глубин поместится и судовый ход, причем расстояние границы его от берега должно быть уже не менее $l_0 = (5t + 15)$ метров, так как в вогнутых частях в гораздо большей степени желательно отдалить границу судового хода от берега во избежание навала на берег судов под действием прижимного течения. Около вогнутого берега таких выступающих в русло сооружений, как на прямолинейных участках, в большинстве случаев не строят, и потому площадь живого сечения, не занятая сооружениями, будет больше.

Для укладки донных тюфяков, предохраняющих берега и ложе реки около него от размыва, необходима также более значи-

тельная площадь, чем на прямолинейных участках, так как размыв русла у вогнутых берегов энергичнее и тюфяки приходится укладывать шире.

Вдоль всего вогнутого берега живые сечения будут иметь форму, близкую к треугольной, т. е. благоприятную для образования внутренних течений комбинированного типа. Поэтому чем короче будут прямые вставки, тем судовой ход будет устойчивее в отношении сохранения глубин.

Не поддающиеся размыву откосы и трудно размываемые обыкновенно оставляют в естественном виде.

Если берега размываются легко и в целях выправления нежелательно допускать дальнейшего их размыва, то береговые откосы укрепляют до границы на 1,0 м выше уровня высоких вод после предварительной обработки их под откос с уклоном не круче 1:2.

Если выправительную трассу приходится пролагать по отмели или по пойме, то трасса разрабатывается землечерпательными снарядами. Часто к землечерпанию прибегают также и в помощь выправительным сооружениям для скорейшего получения необходимых глубин¹.

¹ При выправлении малых судоходных рек применяют описанные сооружения, только более слабой конструкции, а также и сооружения других типов, описанные дальше.

МЕТОДЫ ВЫПРАВЛЕНИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 26. Водостеснительный метод выправления

Идея улучшения судоходных качеств рек посредством расположения в русле сооружений явилась, конечно, не сразу.

Прежде всего река использовалась лишь как источник для питья и вообще бытового потребления и побережья ценились как удобная площадь для поселения, лежащая у воды. Затем рекой стали пользоваться как средством для передвижения, представляющим даровую силу для перемещения по течению сначала плотов, а затем и судов. Движение судов против течения совершалось при помощи мускульной силы людей (у нас бурлаки) и животных (преимущественно лошадей).

Это был период подчинения рек как путей сообщения берегу, необходимому как для расположения на нем вблизи воды жилья, так и для устройства дороги (бечевника) для тяги судов.

Реки размывали берега. Самым простым способом защиты берега был отвод от него течения. И первыми берегоукрепительными сооружениями были подобия дамб, выступающих в русло реки под некоторым углом к ее течению, выше (по течению) той части берега, которую желали защитить от размыва. Позднее перешли к укреплению подводных и надводных откосов размываемых берегов.

Затем, когда стало развиваться применение паровых судовых двигателей, в тридцатых—сороковых годах прошлого столетия, берег, как бечевник, потерял свое значение и судовой ход перестал подчиняться берегу.

Исследуя реки, гидротехники тех времен не могли не обратить внимания на то, что чем уже поперечное сечение реки, тем (при прочих равных условиях) больше скорости течения и сильнее размыв берегов и дна реки. Это привело к мысли использовать скорости течения для размыва мешающих судоходству мелей (перекатов).

Для увеличения в этих целях скорости течения надо было сжать течение, сузить русло. Это привело к созданию более узкого русла, которое образовывали продольными валами, дамбами, одновременно со спрямлением его, что сокращало длину пути и делало русло более устойчивым, не меняющим своего направления переходом из одного рукава в другой.

Так появилась идея водостеснения и водостеснительных выправительных сооружений.

Водостеснительные сооружения в виде параллельных дамб начали применяться довольно широко. Они непрерывной цепью ограждали вновь устраиваемое меженное русло, а чтобы усилить во время половодья отложения за ними наносов, дамбы усиливали траверсами.

Выправление на принципе стеснения живых сечений реки параллельными дамбами развилось сначала в Германии, а затем в Австрии и Франции.

Практика довольно скоро показала, что в подобном русле, несмотря на сжатие потока и местами предельные (для судоходства) скорости течения, все же река серпентинирует, отлагает мели и образует перекаты. В целях улучшить такое положение и дать возможность части наносов отлагаться за дамбами, последние стали строить с интервалами, в которые заходило течение и отлагало за дамбами наносы. Но эта мера положения не улучшила. Тогда в Германии перешли к способу образования новых берегов из поперечных, выступающих в русло сооружений, — бун.

В соответствии с взаимным расположением естественных берегов и выправительной трассы буны располагались или с обеих сторон последней или только с одной, но также преследуя идею стеснения живых сечений потока.

Пространство между бунами, или междубунные поля, служило бассейнами для отложения наносов.

Таким образом от одной крайней водостеснительной системы выправления продольными сооружениями, дамбами, перешли к другой такой же, тоже крайней — выправлению поперечными сооружениями, бунами.

Каждая из этих систем имела общим главным отрицательным качеством принцип водостеснения, сжатия потока.

Дамбы, действуя на поток непрерывно и заменяя берег, дают течению плавное направление, не позволяя отклоняться в сторону. Около дамб, имеющих вогнутое очертание в плане, ложе реки размывается так же, как и около вогнутого берега, т. е. создаются условия для образования благоприятных (по поддержанию глубин) внутренних течений. Это положительная сторона дамб.

Русло, огражденное дамбами как сплошными, так и с интервалами, получает определенные и твердые размеры по ширине. Для увеличения ее или уменьшения, в случае надобности, необходимо ломать дамбы и строить их заново. Направляя определенным образом течение в границы выправительной трассы, дамбы направляют туда же и наносы, т. е. одновременно способствуют ухудшению состояния судового хода. Это отрицательная сторона дамб.

Не останавливаясь на менее крупных плюсах и минусах, обратимся к бунам.

Буны легко позволяют изменять величину живого сечения потока, так как их удлинение затруднений не представляет, а укорочение значительно проще и легче, чем перемещение дамб. Отклоняя течение, буны вместе с ним отклоняют и влекомые течением наносы. Но это отклонение носит местный характер и поток, обтекая голову буны, частично устремляется в лежащее сейчас же ниже буны (считая по течению) междубунное поле, где наносы и откладываются. Правда, частично они попадают и на судовой путь, но в значительно меньшей степени, чем при дамбах. Это положительные стороны системы бун.

Представляя систему выступающих в русло отдельных сооружений, буны, впредь до заполнения наносами междубунных полей, т. е. до образования сплошного берега, что совершается довольно длительно и не всегда в полной мере, не представляют непрерывной и плавной линии берега. Течение отклоняется в междубунные поля, вызывая при этом обычно значительные местные размывы около голов в границах выправительной трассы и между бунами на границе трассы. Вместе с тем нередко течение выносит с междубунных полей часть наносов на трассу. Это главные отрицательные стороны применения системы бун.

Как и выправление дамбами, так и выправление только бунами желательных результатов не дало, несмотря на применение в помощь бунам землечерпания.

Продолжавшееся изучение быта рек и результатов уже выполненных выправительных работ привело гидротехников примерно в семидесятых годах прошлого столетия к определенному выводу, что в основу выправления рек в целях увеличения глубин судового хода (размывом мелей путем увеличения скоростей течения) нельзя ставить принцип стеснения потока. Практика выправления показала, что иногда увеличение скорости течения приводит даже к обратным результатам.

§ 27. Современный метод выправления „содействием потоку“ в, выработке требуемых судоходству форм русла

Изучение действия на поток выправительных сооружений показало, что наилучшие результаты получаются в том случае, если быт реки наименее нарушается и течение ставится в условия, в которых оно находится на естественно хороших участках реки. При этом целью выправления ставилось получение таких глубин, которые естественно получались на благоприятных для судоходства перевалах. Правильность такого понимания задач выправления подтвердилась и дальнейшим применением выправительных работ уже в несколько измененной системе. Так, начали применять одновременно и дамбы и буны, используя благоприятное влияние на поток каждого рода сооружений и широко применяя землечерпание, пользуясь более совершенными и мощными снарядами.

Применение и дамб и бун дало основание назвать систему „смешанной“, как она первое время и называлась.

Это же понимание задач выправления сохраняется, как уже указывалось выше, и в настоящее время. Так как обе старые системы выправления (только продольными сооружениями и только поперечными) совершенно оставлены, современную систему выправления „смешанной“ уже не называют.

По такой системе выправлены основные речные пути Западной Европы и в подавляющем большинстве случаев с благоприятными результатами. Применение так понимаемого выправления на реках Америки дало также удовлетворительные результаты.

Первым дал современному методу выправления техническое оформление и разъяснил, хотя и не в полной мере ряд крупных явлений речного быта инженер-гидротехник Н. С. Лелявский. В своих докладах „О речных течениях и формировании речного русла“, сделанных на II съезде инженеров-гидротехников в 1893 г. в Петербурге и в 1894 г. на VI международном конгрессе по внутреннему судоходству в Гааге (VI Congrès international de Navigation interieure. 1894), инж. Лелявский изложил свою теорию формирования речного русла и метод регулирования судоходных рек.

На том же международном конгрессе французский инженер Жирардон, как докладчик 4-й секции конгресса („Судоходные реки и их улучшение“), в докладе о работе секции отразил взгляды и установки инженеров Западной Европы и Америки по выправлению рек, принятые и конгрессом. В своем личном докладе о выправительных работах на р. Роне Жирардон изложил и выработанный им метод выправления судоходных рек.

Теория формирования речных потоков инж. Лелявского была создана им на основании многочисленных наблюдений на р. Днепре и некоторых его притоках над скоростями и направлениями течений и подкреплена наблюдениями над действием на поток выправления и землечерпания. В несколько более развернутом виде он дал ее в 1904 г. в докладе своем „Об углублении наших больших рек“ на X съезде русских деятелей по водным путям. К сожалению, инж. Лелявский не довел проработки своей теории до конца.

Позднейшие, уже современные нам наблюдения над бытом перекатов и лабораторные исследования, в особенности упоминавшиеся выше наблюдения инж. А. И. Лосиевского, теорию Лелявского в ее основных установках подтвердили.

Инж. Лелявский, доказывая отсутствие в речном потоке параллельноструйности, установил существование в реках внутренних течений по терминологии инж. Лосиевского I типа, о которых мы говорили выше, характеризуя их следующим образом: „... 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 течения 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...

Далее инж. Лелявский указывает, что частица воды, находящаяся в поверхностном слое вблизи от берега, передвигается к фарватеру, где постепенно опускается вниз, проносится над дном и, отклоняясь к берегу, попадает в область донных течений. Приблизившись к берегу, частица поднимается в верхние слои и опять начинает тот же путь. „Чем круче поворот вогнутого берега, — говорит Лелявский, — тем быстрее происходит опускание водяной частицы из верхних слоев ко дну, тем более живая сила, приобретаемая этой частицей при ее движении, и тем больше размыв дна...”

Установленное Лелявским сбойное сходящееся и донное расходящееся течение — это по существу те же компоненты течения I типа, установленные исследованиями А. И. Лосиевского. С расхождением струй ставит Лелявский в связь и соответствующие этому типу нисходящие течения в области раздела винтообразных течений. Точно так же отмечает Лелявский и комбинированное течение у вогнутых берегов, объясняя образование его встречей фарватерного течения с изгибом вогнутого берега. Вследствие этого фарватерное течение отклоняется, пересекает новые струи, притекающие к вогнутому берегу, и, опустившись под их давлением вниз, начинает размывать дно реки. В то же время донное течение, поднявшись у выпуклого берега, переходит в верховое и опять направляется к фарватеру.

Не останавливаясь на более подробном изложении теории формирования русла Лелявского (с ней можно ознакомиться по указанным выше его докладам), отметим, что предложенный им метод выправления судоходных рек отличается между прочим от излагаемого в настоящем труде следующим.

Считая необходимым руководствоваться при выправлении примерами хороших в судоходном отношении плесов и порогов с применением как дамб, так и бун, и отрицая принцип стеснения потока, как неправильный, Лелявский признает необходимым сосредоточивать меженный поток в одном русле, не преследуя, правда, совпадения направлений течения меженного и высоководного. Это первое отличие.

Основывая свой метод на поддержании по всему протяжению судового хода сбойного течения, Лелявский располагает в соответствии с этим выправительную трассу вдоль вогнутых берегов и исключает прямолинейное ее направление. Для выпра-

вления течения на переходе от одного берега к другому он рекомендует быстро и круто переводить сбойное течение от одного вогнутого берега к другому, противоположному, ниже-лежащему. Руководствуется он при этом такими же соображениями, как и изложенные здесь в описании расположения сооружений при выправлении хода на перекатах, но рекомендует применять возможно более крутые повороты судового хода.

Избегая всяких стеснений русла и считая основным правильное расположение течения, Лелявский полагает для достижения этого достаточным целесообразное устройство одного, ведущего, т. е. вогнутого, берега, предоставляя воде свободно растекаться в сторону противоположного выпуклого берега. Таким образом Лелявский рекомендует устройство однолинейной выправительной трассы в отличие от трассы двухлинейной, обычно применяемой. Это второе существенное отличие от описанного здесь метода.

Такое широкое толкование принципа нестеснения потока не может быть, конечно, признано правильным. Восстановление на излишне уширенных участках реки, т. е. главным образом на перекатах, ширины русла, свойственной благоприятным плесам и перевалам, не есть стеснение потока в том понимании, которое вкладывалось в метод водостеснительного выправления. Это — с формальной стороны. По существу — закрепление только одной стороны трассы совершенно не гарантирует от возможности образования в потоке неблагоприятных внутренних течений, которые могут значительно ухудшить состояние однолинейно выправленного участка, что и наблюдается на практике. Указывая, как следует выправлять перекаты, инж. Лелявский и сам применяет двухлинейную трассу, рекомендуя на перегибах (перевалах) „удлинять или развивать нижние оконечности вогнутых берегов“ („Об углублении больших рек“, стр. 72). Такой способ, совершенно правильный, требует укрепления вогнутого берега и ограничения противоположного ему выпуклого струенаправляющей дамбой и бунами, т. е. создания двухлинейной трассы.

Исключение из трассы прямолинейных частей также нельзя признать целесообразным.

Прямолинейное направление наблюдается в естественно установившейся трассе на благоприятных плесах. Нет оснований отказываться от него при выправлении подобных участков реки, тем более, что такое направление наиболее благоприятно для судоходства.

Основные положения предложенного инж. Лелявским метода выправления применялись, но не в полном объеме, при выправлении некоторых перекатов на р. Днепре и дали сравнительно удовлетворительные результаты.

Несколько иной метод выправления судоходных рек был предложен на том же судоходном конгрессе, на котором делал

свой доклад инж. Лелявский, французским инженером Жирардоном.

Инж. Жирардон очень осторожно определяет задачи выправления. Указывая, что наносы передвигаются к устьям рек, останавливаясь периодически на пути своего движения, Жирардон говорит: „Все, что мы в состоянии сделать, это предвидеть места остановок (наносов) и пытаться внести в них немного порядка. Немного порядка — это возможно. Даже на тех участках, где передвижение наносов наиболее сильно, можно наблюдать места, которые остаются неизменяемыми и где глубины постоянны. Возможно поэтому указать известное число пунктов, состояние которых возобновляется с известным постоянством. Мы не в состоянии изменить один из действующих элементов — силу влечения воды, но мы можем действовать на второй элемент — распределять те сопротивления, которые противодействуют этой силе влечения воды“.

Ссылаясь на исследования инж. Лелявского над движением потока, инж. Жирардон считает невозможным бороться с извилистым в плане очертанием рек и распределением глубин около вогнутых берегов, со ступенчатой формой продольного профиля и с переменной шириной реки.

Предлагая метод выправления рек, Жирардон указывает, что метод этот „просто подражание природе“, при котором за образец надо брать хорошие по своим судоходным качествам участки реки, имея в виду, что глубина, которую можно получить при выправлении, будет не больше естественной, свойственной данной реке.

Установив понятие о двух основных типах перекатов, о чем мы говорили выше (хороший и плохой перекат), Жирардон главную задачу выправления видит в преобразовании плохих перекатов в хорошие и, как и Лелявский, считает обязательным располагать трассу вдоль вогнутых берегов, но плавно переводя ее от одной вогнутости к другой.

Для получения хороших результатов Жирардон считает необходимым:

а) иметь единое меженнее русло без разделения его на рукава;
б) придавая, где это необходимо, при посредстве сооружений определенное плановое очертание берегам, фиксировать таким путем в русле места больших глубин и складывания наносов;

в) регулировать формы и положение отложений наносов на перекатах.

Особое значение Жирардон придает расположению сооружений, очерчивающих плановые формы выправительной трассы, особенно в ведущих ее частях.

Судовой ход на подходе к хорошему перекату располагается ближе всего около вершины вогнутой кривой. Затем он постепенно отклоняется от берега и, войдя на перекат, начинает примерно на середине русла менять свое направление, переходя

вления течения на переходе от одного берега к другому он рекомендует быстро и круто переводить сбойное течение от одного вогнутого берега к другому, противоположному, нижележащему. Руководствуется он при этом такими же соображениями, как и изложенные здесь в описании расположения сооружений при выправлении хода на перекатах, но рекомендует применять возможно более крутые повороты судового хода.

Избегая всяких стеснений русла и считая основным правильное расположение течения, Лелявский полагает для достижения этого достаточным целесообразное устройство одного, ведущего, т. е. вогнутого, берега, предоставляя воде свободно растекаться в сторону противоположного выпуклого берега. Таким образом Лелявский рекомендует устройство однолинейной выправительной трассы в отличие от трассы двухлинейной, обычно применяемой. Это второе существенное отличие от описанного здесь метода.

Такое широкое толкование принципа нестеснения потока не может быть, конечно, признано правильным. Восстановление на излишне уширенных участках реки, т. е. главным образом на перекатах, ширины русла, свойственной благоприятным плесам и перевалам, не есть стеснение потока в том понимании, которое вкладывалось в метод водостеснительного выправления. Это — с формальной стороны. По существу — закрепление только одной стороны трассы совершенно не гарантирует от возможности образования в потоке неблагоприятных внутренних течений, которые могут значительно ухудшить состояние однолинейно выправленного участка, что и наблюдается на практике. Указывая, как следует выправлять перекаты, инж. Лелявский и сам применяет двухлинейную трассу, рекомендуя на перегибах (перевалах) „удлинять или развивать нижние оконечности вогнутых берегов“ („Об углублении больших рек“, стр. 72). Такой способ, совершенно правильный, требует укрепления вогнутого берега и ограничения противоположного ему выпуклого струенаправляющей дамбой и бунами, т. е. создания двухлинейной трассы.

Исключение из трассы прямолинейных частей также нельзя признать целесообразным.

Прямолинейное направление наблюдается в естественно установившейся трассе на благоприятных плесах. Нет оснований отказываться от него при выправлении подобных участков реки, тем более, что такое направление наиболее благоприятно для судоходства.

Основные положения предложенного инж. Лелявским метода выправления применялись, но не в полном объеме, при выправлении некоторых перекатов на р. Днепре и дали сравнительно удовлетворительные результаты.

Несколько иной метод выправления судоходных рек был предложен на том же судоходном конгрессе, на котором делал

свой доклад инж. Лелявский, французским инженером Жирардоном.

Инж. Жирардон очень осторожно определяет задачи выправления. Указывая, что наносы передвигаются к устьям рек, останавливаясь периодически на пути своего движения, Жирардон говорит: „Все, что мы в состоянии сделать, это предвидеть места остановок (наносов) и пытаться внести в них немного порядка. Немного порядка — это возможно. Даже на тех участках, где передвижение наносов наиболее сильно, можно наблюдать места, которые остаются неизменяемыми и где глубины постоянны. Возможно поэтому указать известное число пунктов, состояние которых возобновляется с известным постоянством. Мы не в состоянии изменить один из действующих элементов — силу влечения воды, но мы можем действовать на второй элемент — распределять те сопротивления, которые противодействуют этой силе влечения воды“.

Ссылаясь на исследования инж. Лелявского над движением потока, инж. Жирардон считает невозможным бороться с извилистым в плане очертанием рек и распределением глубин около вогнутых берегов, со ступенчатой формой продольного профиля и с переменной шириной реки.

Предлагая метод выправления рек, Жирардон указывает, что метод этот „просто подражание природе“, при котором за образец надо брать хорошие по своим судоходным качествам участки реки, имея в виду, что глубина, которую можно получить при выправлении, будет не больше естественной, свойственной данной реке.

Установив понятие о двух основных типах перекатов, о чем мы говорили выше (хороший и плохой перекат), Жирардон главную задачу выправления видит в преобразовании плохих перекатов в хорошие и, как и Лелявский, считает обязательным располагать трассу вдоль вогнутых берегов, но плавно переводя ее от одной вогнутости к другой.

Для получения хороших результатов Жирардон считает необходимым:

- а) иметь единое меженнее русло без деления его на рукава;
- б) придавая, где это необходимо, при посредстве сооружений определенное плановое очертание берегам, фиксировать таким путем в русле места больших глубин и складывания наносов;

- в) регулировать формы и положение отложений наносов на перекатах.

Особое значение Жирардон придает расположению сооружений, очерчивающих плановые формы выправительной трассы, особенно в ведущих ее частях.

Судовой ход на подходе к хорошему перекату располагается ближе всего около вершины вогнутой кривой. Затем он постепенно отклоняется от берега и, войдя на перекат, начинает примерно на середине русла менять свое направление, переходя

на короткое расстояние почти в прямолинейное направление. Таким образом радиус кривизны непрерывной кривой, по которой располагается судовой ход, имеет максимум около вершины вогнутого берега и минимум—нуль—на месте его поворота. Поэтому Жирардон признает необходимым, если приходится создавать искусственно вогнутый берег или выправлять существующий, выполнять это при помощи продольных дамб, которые в необходимой мере непрерывно отклоняют течение и удерживают около себя глубину. Для того чтобы судовой ход не располагался при выходе на перекат близко к дамбе, что способствовало бы образованию при переходе его к другому берегу крутого изгиба, дамба должна отходить на перекаате от судового хода, а по своему продольному профилю, в целях постепенного уменьшения ее воздействия на поток, должна понижаться к голове до высоты мелей, заканчиваясь на них на линии перегиба судового хода.

Дамбу следует подкреплять траверсами, придавая их гребню пологий подъем к берегу.

Выпуклые берега должны сохранять естественный рельеф, т. е. пологую покатость, постепенно повышающуюся от уреза вглубь берега. Если выпуклый берег не размывается, то его следует оставить в естественном состоянии. Если же размывается или его надо создавать, то в обоих случаях необходимо применять бунны с пологим повышением их гребня от уреза до естественной высоты побочня. Продольный уклон бун должен быть тем круче, чем меньше радиус извилины берега.

Что касается выправления перехода судового хода от одного берега к другому, то надо иметь в виду, что перевалы являются местом отложения наносов и поэтому их следует назначать на местах перекаатов. Если приходится делать новый дополнительный перевал, сверх существующих (например, при длинных кривых, чтобы не делать их слишком пологими), то место перевала надо выбирать, руководствуясь величиной расстояния между существующими перекатами на подобных же участках реки. Предпочтительнее увеличивать, по мнению Жирардона, число перевалов, а не уменьшать, так как каждый перекаат представляет порог, а с увеличением числа порогов падение уровня на каждом будет уменьшаться.

Обеспечив правильным расположением и закреплением выправительной трассы места отложения в русле наносов, необходимо создать на этих местах и благоприятный для судоходства рельеф судового хода. Напомним, что на перекатах хорошего типа ход бывает широк, глубины не особенно велики, в поперечном сечении ход имеет форму, близкую к треугольнику с основанием на поверхности воды и с пологими сторонами, причем со стороны вогнутого берега уклоны круче. Вблизи перегиба уклоны сторон уравниваются, а глубина уменьшается.

Таких форм рельефа Жирардон рекомендует достигать при помощи донных полузапруд и порогов, причем последние сле-

дуёт располагать с таким расчетом, чтобы на них была достаточная глубина при низких уровнях.

Пороги, уменьшая живое сечение, говорит Жирардон, вызывают размыв хода в ширину, а донные полузапруды отклоняют течение от берега. Они должны иметь различный уклон гребней, согласно изложенному выше желаемому расположению судового хода (ближе к берегу около вершины кривой и дальше по мере приближения к перегибу).

Метод выправления, предложенный Жирардоном, очень близок к методу, применяемому и немецкими гидротехниками, которые, отказавшись также от принципа водостеснения, считают необходимым руководствоваться примерами благоприятных для судоходства участков реки, находящихся в естественном состоянии. Жирардон, как мы видим, также считает необходимым иметь меженный поток в одном русле. С этим, как с обязательным правилом, согласиться нельзя.

В остальном рекомендуемый Жирардоном метод выправления почти не отличается от рекомендуемого нами.

Изложенные методы выправления судоходных рек имеют своим объектом реки при меженных уровнях. Регулирования русла высоких вод ни один метод не затрагивает. Хотя мы при выправлении меженного русла и не считаемся с высокими водами непосредственно, т. е. не строим высоководных сооружений, но учитывать влияние половодий должны. Наблюдения показывают, что направление весеннего потока или вообще высоких вод лишь в редких случаях совпадает с направлением течения при меженных уровнях. Обыкновенно течение высоких вод пересекает и неоднократно русло меженных вод. Течение при высоких водах распределяется как бы на два этажа, а в тех случаях, когда долина реки имеет несколько заливаемых высокими водами террас, может быть деление потока по высоте и на большее число слоев, пересекающих друг друга по направлению течения.

Быт реки при стоянии высоких уровней почти совершенно еще не затронут исследованиями. Поэтому все наши соображения по вопросу о влиянии работы потока при высоких уровнях на состояние меженного русла приходится основывать главным образом на внешних признаках происходящих при этом явлений, на данных топографических исследований.

Мы знаем, что в реках с устойчивым руслом и с небольшим падением наносы в период высоких вод откладываются на перевалах и перекатах, на первых — в меньшей степени, на вторых — в значительно большей. При спаде воды эти наносные отложения размываются, причем глубины на перевалах восстанавливаются почти в полной мере, а на перекатах не всегда. Мы знаем также, что при медленном спаде размыв на перекатах в большинстве случаев восстанавливает ранее бывшие глубины почти полностью, а при быстром спаде такого восстановления не наблюдается, и перекаты остаются значительно

обмелевшими. На перевалах этого не наблюдается, а если и наблюдается, то в значительно меньшей степени. Таким образом при нормальном неускоренном прохождении высоких вод и вообще паводков рельеф русла постепенно приспособляется к меженному состоянию потока, а русло самоочищается от наносов. Большое значение в этом процессе самоочищения реки имеют, несомненно, внутренние течения, образующиеся в потоке, различного характера и различно влияющие на перестроение рельефа поймы, плесов и перекатов. Можно не сомневаться, что характер образования и воздействия на русло этих течений в преобладающей степени обуславливает и хорошее состояние перевалов и устойчивость рельефа перекатов.

Паводочные процессы вызывают периодичность повышения и понижения дна перекатов. В реках с устойчивым руслом при создании выправлением соответствующих условий это явление ухудшающего значения для меженного русла иметь не будет.

Подобного же порядка явления вызывает и несовпадение направления течений высоких и меженных вод. И здесь, надо думать, преобладающее значение имеет характер образования и воздействия на русло внутренних течений. Во всяком случае пока еще не замечено общего вредного влияния на рельеф меженного русла от несовпадения направлений высоководных и меженных течений, почему на практике регулирование высоководного потока сводилось до сих пор к защите прибрежных населенных пунктов от наводнений.

В настоящее время, с развитием постройки речных портов, вопрос о регулировании рек при высоких уровнях должен приобрести весьма актуальное значение, так как в отдельных случаях придется береговые портовые территории, в настоящее время затопляемые, превращать в незатопляемые, что, конечно, может внести серьезные изменения в существующий режим высоких вод и потребовать выправления высоководного потока на прилегающих к порту участках.

При выправлении потока высоких вод на крупных судоходных реках приходится иметь дело с огромными расходами воды, достигающими, например, на Волге, ниже впадения Камы, $60\,000\text{ м}^3/\text{сек}$. Это требует и сооружений больших размеров и прочности, т. е. чрезвычайно крупных капиталовложений.

Продолжительность высоких вод занимает в среднем на равнинных реках не более 25% навигационного периода. Сами по себе высокие уровни стояния воды для судоходства выгодны, и при правильном обслуживании судового пути обстановкой никаких препятствий для судоходства не представляют. Отрицательное влияние, какое высокие воды якобы оказывают на состояние меженного русла, как общее правило, пока подтверждено быть не может. Есть основания, позволяющие предполагать, что такое влияние проявляется далеко не во всех фазах прохождения высоких вод и только при наличии комплекса известных условий.

Выправление потока высоких вод, улучшая условия их прохождения и избавляя в то же время прибрежные земли от наводнений, не решает все же вопроса рационального использования в интересах судоходства излишне больших и ненужных для последнего в полном объеме высоководных расходов.

При выправлении русла высоких вод судоходство также будет иметь излишнюю глубину, а в межень пользоваться глубиной значительно меньшей, так как выправление не оказывает влияния на перераспределение расходов воды во времени. Эта задача может быть разрешена только регулированием стока.

На основании изложенных соображений, если глубины естественно хороших перевалов удовлетворяют требованиям судоходства, технически и экономически целесообразно ограничиться выправлением реки лишь при меженных уровнях.

Если обеспечиваемые выправлением меженные глубины недостаточны для судоходства, следует обращаться к другим способам улучшения судоходных условий реки (к дополнительному питанию, либо к питанию в соединении с выправительными работами, либо к шлюзованию).

Изложенные выше методы выправления судоходных рек при меженных уровнях в основных своих положениях почти не отличаются друг от друга. Все они сходятся в следующем.

1. Выправление меженного русла судоходных рек основывается не на принципе стеснения живых сечений потока для увеличения средней скорости течения, в целях усиления размыва русла на перекатах. Оно имеет своей задачей воспроизведение на выправляемых перекатах или участках меженного русла таких условий образования внутренних течений, которые свойственны перевалам или участкам реки, естественно, благоприятным для судоходства и находящимся в сходных с выправляемым перекатом или плесовым участком бытовых условиях.

2. Экономически выгодно и технически целесообразно производить выправление только меженного русла реки.

3. Выправление меженного русла может производиться по отдельным участкам, наиболее затруднительным для судоходства, без опасения вызвать ухудшение состояния выше- и нижележащих соседних участков реки.

4. Глубина судоходного пути на перекатах, которую стремятся получить выправлением, не превышает глубины естественно устойчивых перевалов, близких по своим бытовым свойствам к выправляемому.

5. Ширина и кривизна выправительной трассы на выправляемом перекате (участке реки) должны сообразоваться с шириной и кривизной русла на перевале (или участке реки), близком по своим бытовым свойствам к выправляемому.

6. Выправление вогнутых берегов должно производиться посредством дамб и донных полузапруд, а выпуклых — бунами.

7. Правильное расположение выправительной трассы на перекате должно обеспечиваться возможно большим, без причинения однако стеснения судоходству, выдвиганием верхнего по течению вогнутого берега по плавной кривой, постепенно отходящей от оси трассы. Со стороны выпуклых берегов выправительная трасса, если это требуется для-создания определенной ширины русла с необходимой глубиной, должна ограждаться бунами, обеспечивающими надлежаще правильное ее очертание.

8. Отдельные укрепления вогнутых берегов там, где это возможно и целесообразно, должны производиться посредством активных сооружений (донные полузапруды и короткие струенаправляющие дамбы).

Все изложенные методы выправления предусматривают необходимость сосредоточения меженного потока в одном русле, но по изложенным выше соображениям мы считаем это далеко не всегда целесообразным.

Эти основные положения, которыми руководствуются при выправлении в настоящее время, надо отметить, получили подтверждение и на XV международном конгрессе по судоходству, состоявшемся в 1931 г. в Венеции.

Французские и немецкие гидротехники, опасаясь излишне большого развития глубин в подходных к перекатам участках плесов, прибегают к твердому закреплению русла в таких местах донными запрудами, примыкая их к донным полузапрудам или бунам, а иногда применяя комплексно все эти три типа сооружений. Закрепляют они таким образом живое сечение лишь с небольшим запасом по отношению к проектной глубине (примерно около 1,0 м).

Излишне большие глубины, порядка 8—10 м ниже расчетного уровня, образуются почти исключительно у вогнутых берегов. Если даже они занимают площадь, достаточную для помещения на ней судового хода, что бывает в исключительных случаях, то и тогда нет оснований закреплять жестко все живое сечение. В таких случаях, считаем, достаточно только донных запруд, но углубленных с значительным запасом (в 2,5—3,0 м) по отношению к проектной глубине, если, конечно, судовой ход не располагается слишком близко к вогнутому берегу. В последнем случае кроме донных запруд необходимо будет и применение донных полузапруд, со стороны же выпуклого берега никаких подводных сооружений строить не следует. Если выпуклый берег удален от выправительной трассы, то последнюю надо ограничивать лишь, бунами.

В основных положениях изложенных выше методов выправления не упоминается совершенно о землечерпании только потому, что необходимость его применения при выправлении ни у кого не вызывает сомнений и оно действительно широко применялось и применяется. О нем говорится более подробно далее.

§ 28. Расположение выправительных сооружений

На естественно хороших в судоходном отношении участках реки вогнутые берега, способствуя образованию около них глубокого русла, действуют на поток непрерывно, направляя его плавно и постепенно и не вызывая образования водоворотов и резких местных отклонений течения.

Руководствуясь этим, поперечных сооружений, бун, вдоль вогнутых берегов и для образования их не применяют: для этой цели служат струенаправляющие дамбы или опояски.

В тех случаях, когда глубины у вогнутого берега чрезмерно и неправильно развиты, а сам берег сильно размывается и несколько уклоняется за пределы выправительной трассы, целесообразно, как упоминалось выше, применение донных полузапруд (рис. 76).



Рис. 76. Донная полузаграда.

У противоположного вогнутому выпуклого берега почти всегда откладывается мель, побочень, и русло имеет обычно незначительные глубины. Береговой откос, откос побочня, всегда почти имеет весьма пологий уклон. Если русло слишком широко и граница трассы значительно отстоит от выпуклого берега, то во избежание отклонения течения в сторону выпуклого берега трассу с его стороны ограничивают бунами.

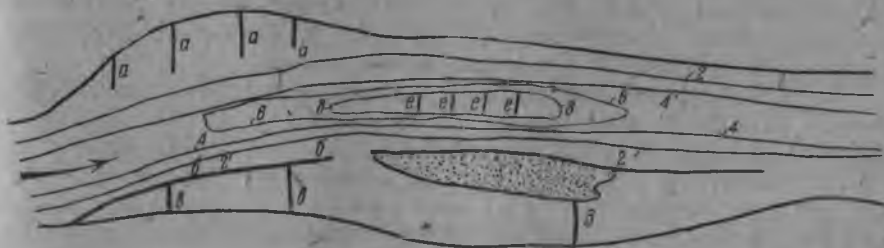


Рис. 77.

Буны применяют и для ограждения в излишне широком русле прямолинейных участков, иногда дополняя их крыльями, т. е. устраивая буны глаголеобразные.

В зависимости от взаимного расположения выправительной трассы и берегов реки трасса на прямолинейных участках ограждается (рис. 77) бунами (а, а) или с одной или с обеих сторон. В последнем случае буны располагают одну против другой с таким расчетом, чтобы продолжения их пересекались на середине выправительной трассы.

Расстояние между бунами зависит от местных условий: ширины реки, рельефа ее русла, планового расположения и форм

ее берегов, планового расположения и ширины трассы, скоростей и распределения течения и количества и рода перемещаемых рекою наносов. Следует иметь в виду, что излишне большое расстояние между бунами, представляя течению возможность заходить между ними близко к берегу, может вызвать нежелательное отклонение течения. С другой стороны, наблюдения показывают, что при большом расстоянии между бунами отложение наносов между ними происходит медленно и в неполной мере. Рассчитывать на то, что сама работа бун укажет на необходимость уменьшения между ними интервалов, что и может быть выполнено постановкой промежуточных бун, — нецелесообразно. Может случиться, и это наблюдалось в практике выправления, что после спада первой же вслед за постройкой бун весенней воды в пределах выправительной трассы откладывается мель в виде осередка (часто подводного) и течение образует два рукава, из которых один располагается между широко расставленными бунами, огибая их головы. Получается весьма серьезная порча трассы, устранение которой создает порой большие затруднения. Поэтому интервалы между бунами лучше заведомо делать меньше. Общих норм в этом отношении нет. Один из старейших немецких гидротехников Гаген считал, что на реках сравнительно небольших, ширина которых порядка 75—150 м, расстояние между бунами должно быть равно примерно трем четвертям ширины реки, а на реках большого размера оно может быть около трети ширины реки. Проф. Энгельс на основании лабораторных исследований пришел к выводу, что на прямолинейных участках трассы расстояние между бунами не следует делать более ширины трассы. Французские гидротехники придерживаются примерно такой же нормы.

Нам представляется более правильным ставить расстояние между бунами в зависимость не от ширины реки (Гаген), а от ширины выправительной трассы (Энгельс), которую буны должны создавать и обеспечивать от изменений. Нормы расстояний между бунами для прямолинейных участков, равная ширине трассы, указываемая проф. Энгельсом как предельно максимальная, по некоторым наблюдениям для рек средней и крупной величины велика. Между бунами, расставленными на таком расстоянии, как показала практика выправления на наших реках, отложение наносов идет медленно и междубунные поля заполняются ими лишь частично. Этой нормой можно пользоваться для прямолинейных трасс шириной до 100 м. Для трасс шириной от 100 и до 150 м расстояние между бунами не должно быть более трех четвертей ширины трассы, для трасс шириной до 250 м — не более двух третей ширины, для трасс же шире 250 м — не более 200 м. Что касается выпуклых берегов трассы, то здесь буны можно размещать вообще реже, а при благоприятных условиях и совершенно не ставить.

Если выправительная трасса лишь немного менее изогнутой части русла, отступая от уреза выпуклого побочня примерно

на 15—20 м, и если течение при сбеге с перевала не имеет стремления частично отклоняться в сторону выпуклого берега, не подрезывает его в верхней (считая по течению) части, то бун можно совершенно не ставить. Если при этом побочень низок и может быть опасение смыва его по высоте высокими водами, что может привести к разработке рукава, то побочень необходимо закрепить рассадой ивняка или ленточными хворостяными тюфяками.

Если течение при уровнях, покрывающих сооружения, спрямляется и направляется хотя бы частью над побочнем выпуклого берега, то трассу со стороны выпуклого берега следует оградить бунами, размещая их более часто в верхней и нижней



Рис. 78.

третях выпуклости и реже по середине. Расстояние между бунами, располагаемыми более часто, следует оставлять не больше, чем на две трети ширины при трассах шириной до 250 и не более 200 м при более широких трассах. На средней трети выпуклого берега в этих случаях расстояние между бунами может быть взято более значительным.

Предлагаемые нормы требуют, понятно, уточнения, и если на выправляемой реке имеются уже выправленные участки, то указанные нормы междубунных интервалов должны быть пр-коррректированы по осуществленным ранее работам.

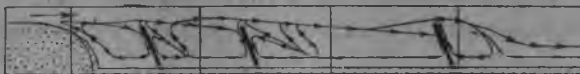


Рис. 79.

В тех случаях, когда буна дополняется крылом (струенаправляющей частью), т. е. получает глаголеобразную форму, расстояние между бунами может быть увеличено примерно на половину или на две трети длины крыла.

На отложение наносов между бунами и на характер образования внутренних течений в пределах трассы в ряду многих причин немалое влияние оказывает и расположение бун по отношению к направлению течения. Буны располагают перпендикулярно к направлению течения и наклонно как против течения, так и по направлению течения с отклонением от перпендикулярного положения в пределах от 5 до 15°.

Лабораторными опытами, первоначально Гагена, а в последнее время проф. Энгельса, было установлено, что значительно большее количество наносов откладывается между бунами, когда они имеют наклон против течения.

Исследования проф. Энгельса производились при трех положениях уровня воды относительно бун: 1) когда буны не затоплены (расчетный уровень), 2) когда над ними протекает слой воды небольшой высоты (средний меженный уровень) и 3) когда слой протекающей над бунами воды значителен (половодье).

На рис. 78 показаны направления течений между бунами, когда расстояния между последними одинаковы и когда (рис. 79) нижняя по течению бунa отодвинута на двойное расстояние. И в том и в другом случаях течение, встречая буну, идет к берегу вдоль нее, затем поворачивает к вышележащей буне и около нее замыкается. Таким образом между бунами получается круговое течение с рядом водоворотов. У второй и третьей бун со сливной стороны, у корневой части, образуется местная водоворотная циркуляция, сопровождающаяся размывом русла около корней со сливной стороны.

При большом интервале (рис. 79) ниже верхней буны (вторая по течению) образуется два водоворотных поля, заходящие



Рис. 80.



Рис. 81.

вглубь между бунами, причем второе поле, располагаясь ниже по течению первого, начинается на границе трассы. Это подтверждает вредность слишком больших расстояний между бунами.

Непосредственно ниже голов бун наблюдаются как в межень, так и в высокую воду по линии трассы (рис. 80) размывы (образование ям), причем продукты размыва отлагаются тут же ниже размывов, в виде осередков. В высокую воду, как показывают лабораторные опыты, наносы отлагаются почти по всему междубунному полю (рис. 81), доходя до берегов и засыпая у голов бун часть размыва, образовавшегося при низкой воде.

Описанные результаты лабораторных опытов над действием бун на поток подтверждаются примерами выправительных работ. Размывам у голов успешно противодействуют устройством голов с пологими откосами (не круче 1:5), а против размывов у корней — приданием бунам подъема от голов к корням с увеличением его в корневых частях.

Если одновременно с постройкой бун производится и углубление судового хода, то продукты черпания следует складывать на междубунные поля и на места расположения бун. С одной стороны, это быстрее создает новый берег, а с другой — уменьшает объем бун.

Иногда рекомендуется постепенное по высоте возведение бун, разумея под постепенностью многолетнюю постройку. Цель такой постепенности — улучшение условий отложения наносов на междубунных полях, причем высота бун должна повышаться по мере нарастания наносных отложений (проф. Б. Н. Кандиба. Регулирование рек). В судоходном русле вести так постройку рискованно. Устраивая между границей трассы и берегом пониженную буну, в сущности донную запруду, мы вызовем при меженном уровне, особенно при низком, образование перепада, который отразится в большей или меньшей степени и на потоке в пределах трассы. Ряд таких перепадов (над каждой буной) может значительно ухудшить судоходные условия на выправительной трассе. Подобное явление произошло при постройке бун у г. Горького против сибирской пристани.



Рис. 82.

Целесообразнее поэтому строить буны сразу на проектную высоту и особенно если трасса одновременно углубляется землечерпанием.

Бунам придается в плане прямолинейное направление. В целях улучшения условий отложения наносов между бунами имели место опыты с постройкой ломаных бун, состоящих по длине из двух частей: береговой, перпендикулярной к направлению берега, и русловой (головной), наклонной против течения (рис. 82).

Подобного типа буны усиления отложения наносов не вызвали, а так как они сложнее в постройке, то распространения и не получили.

При значительном размыве русла у вогнутых берегов применяется комплекс из бун и донных полузапруд или донных запруд (рис. 83). На рис. 83 показано оформление поперечного профиля при выправлении р. Везера в Германии.

Таким образом живое сечение по всему своему периметру в пре-

делах выправительных горизонтов получает жесткую обделку. К такого рода укреплениям русла, обращающим русло реки в искусственный лоток, довольно широко между прочим примененным при выправлении р. Везера в Германии, следует обращаться лишь в особо исключительных случаях и проектировать и строить пороги с достаточным запасом над ними глубины. Могут быть такие низкие, ранее не наблюдавшиеся навигационные уровни воды в реке, при которых пороги при наступившем крупном мелководье обратятся в серьезные препятствия для движения судов. Во избежание этого выше и был указан запас глубины под днищем судна в 100 см как предельно



Рис. 83.

минимальный. Независимо от этого такие жесткие неразмываемые профили могут вызвать нежелательные изменения в образовании внутренних течений потока. В случае необходимости уменьшить глубину в тех или иных пунктах трассы целесообразнее применить засыпку продуктами черпания, прикрыв ее сверху более крупнозернистым грунтом, хотя бы, например, хрящом, гравием или даже некрупным камнем. Такое покрытие, являясь к тому же поверхностью большой шероховатости, вызовет значительное уменьшение донных скоростей и не будет размыто. При неожиданном снижении уровня или при обмелевании такая засыпка легко может быть удалена дноуглубительным снарядом.

Обращаясь теперь к выправлению перевала судового хода от одного берега или плесовой ложбины к другой, у противоположного берега, рассмотрим, какова форма рельефа поперечных сечений хорошего перевала.

Трасса доброкачественного по естественным условиям перевала идет, считая по течению, по пологой вогнутой кривой от нижней части верхней ложины к середине перевала и в районе этой середины примыкает к прямолинейной части перевала. Последняя в свою очередь переходит снова в криволинейную часть, вогнутую, соединяющуюся с нижней долиной, захватывая ее верхнюю часть.

Корыто перевала, по которому и располагается судовая ход, начинает в нижней части верхней плесовой ложбины отходить от нее по кривой меньшего радиуса по сравнению с радиусом кривизны нижней части вогнутого берега. Отодвигаясь по вогнутой кривой постепенно к середине русла, корыто перевала получает около нее или (чаще) прямолинейное направление или (реже) сохраняет прежнее вогнутое направление.

В первом случае, пройдя прямолинейную часть хода, корыто переходит к вогнутому расположению в плане, но уже по кривой противоположного направления, постепенно расширяясь и соединяясь с верхней частью нижней плесовой ложбины.

Кривая, по которой корыто перевала подходит к нижней плесовой ложбине, меньшего радиуса, чем кривая, по которой располагается верхняя часть нижней ложбины.

Прямолинейная часть перевала — будем называть ее прямой вставкой — сохраняет глубину, колеблющуюся в пределах не более полуметра, обычно даже меньше. От конца ее глубина корыта начинает увеличиваться в обе стороны: и к верхней и к нижней ложбинам.

В поперечном сечении корыто перевала имеет форму, близкую к трапеции. Малую горизонтальную сторону этой трапеции представляет дно корыта, боковые стенки — откосы корыта, а верхнюю горизонтальную сторону — поверхность воды в пределах откосов корыта, мысленно продолженных до пересечения с водной поверхностью. Уклон откосов корыта пологий, но различный; откос со стороны вогнутых берегов круче.

Подходя к прямой вставке, корыто несколько суживается, но на протяжении всей вставки сохраняет ширину почти неизменно, а начиная от точки перегиба, постепенно расширяется, причем пологость его откоса со стороны выпуклого берега увеличивается.

При отсутствии прямой вставки корыто перевала меняет несколько ниже середины реки свою вогнутость на обратную и, постепенно углубляясь, воспроизводит в обратном порядке свои формы, которые оно проходило до точки перегиба.

Русло перевала устойчиво сохраняет свои формы, как бы огражденное сооружениями. Это обеспечивает при меженных уровнях образование благоприятных внутренних течений, и судовый ход не представляет препятствий судоходству.

На перекатах по существу повторяются такие же формы, но в более резких чертах: часто меняющаяся и малая ширина хода, малая его глубина, отсутствие плавности в плановых линиях и резко выраженное подвалье, которого нет на перевале, где глубины от точки перегиба увеличиваются постепенно, переходя к плесовым ложбинам.

У вогнутых берегов, как мы видели, образуется внутреннее комбинированное течение. Оно размывает ложе реки у вогнутого берега и перемещает продукты размыва к противоположному выпуклому берегу и частью, значительно меньшей, к нижележащему тоже выпуклому берегу.

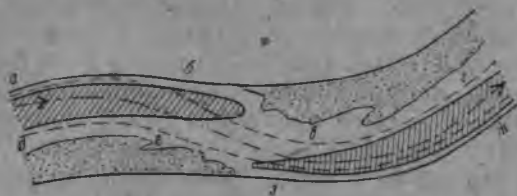


Рис. 84.

Если бы верхний вогнутый берег продолжался и по перекату, то комбинированное течение (при прочих равных условиях) сохранилось бы и глубина корыта была бы большая. Поэтому простейшим решением было бы продолжение вогнутого берега верхней плесовой ложбины до верхней части нижней с переходом около нее в вогнутость обратного направления, совпадающую с вогнутостью нижней ложбины.

Для осуществления этого граница трассы *аб*, располагающаяся по вогнутому берегу (рис. 84) верхней ложбины, должна, подойдя к нижней плесовой ложбине, получить в плане выпуклое очертание *вг*, а другая граница трассы — из выпуклой *де* перейти в вогнутую *жз*.

Продолжение вогнутого берега *абв* в части его *бв* должно иметь радиус кривизны меньший, чем нижняя часть кривой *аб*. Строя дамбу по линии большей кривизны *бв*, необходимо дать ей такую длину, при которой течение получило бы определенное устойчивое направление к нижней ложбине и вместе с тем не создавало бы крутого поворота в нижней части вогнутого берега — *ез*. Такой крутой поворот может сделать невозможным

движение буксирных караванов и вызвать вместе с тем сильный размыв берега *де*, в результате чего получится резкое отклонение судового хода к нижней части выпуклого берега.

Поэтому струенаправляющую дамбу от конца верхней ложбины выводят вниз по течению на длину от одной трети до половины длины перевала, в зависимости от длины последнего (чем длиннее перевал через перекат, тем длиннее дамба), располагая ее по кривой меньшего радиуса, чем кривая примыкающей к ней части вогнутого берега.

Если лежащий ниже этой дамбы побочень у выпуклого берега подходит близко к дамбе и своим очертанием в плане по урезу расчетного уровня образует плавный переход от дамбы к выпуклой границе трассы, то никаких сооружений более строить не надо. Струенаправляющую же дамбу полезно дополнить траверсом, поместив его ближе к корневой части дамбы.

Если длина дамбы более 100 м, то лучше устроить два траверса, один в 25 м от корня, а второй в 75 м. Назначение траверсов — способствовать лучшему отложению наносов при высоких уровнях с тыловой стороны дамбы.

Если побочень у выпуклого берега не образует желательного продолжения струенаправляющей дамбы, то ниже ее, на побочне, надо построить буны, заканчивая их головы на линии ближайшей границы выправительной трассы. Головы бун должны иметь в этом случае пологий речной откос, не круче 1:10. Буны размещаются так, как указано выше при описании размещения их на выпуклом берегу.

Такая система сооружений должна создать и поддержать условия течения, благоприятные для образования в межень внутреннего комбинированного течения.

При выправлении перекатов, кроме описанного размещения бун и дамб, приходится, в соответствии с местными условиями, применять укрепления берегов и заграждения рукавов.

В частности относительно применения берегоукрепительных работ на перекатах надо заметить следующее. Для укрепления берегов вообще, а на перекатах в особенности выгоднее, если по условиям выправления и судоходства это возможно, применять такие сооружения, которые не только непосредственно защищают берег от размыва, но и служат для изменения направления течения, т. е. применять так называемые активные сооружения, например, буны, донные полузапруды и даже небольшой длины струенаправляющие дамбы. Берегоукрепительные сооружения пассивного характера, непосредственно защищающие от размыва откосы берегов, т. е. прикрывающие их, целесообразнее и выгоднее применять для защиты вогнутых берегов, располагающихся вблизи границ судового хода. Пассивное береговое укрепление почти всегда стоит дороже активного.

Изложенный метод выправления судоходных рек, отвергающий принцип стеснения потока, т. е. метод водостеснительного

выправления, был принят огромным большинством гидротехников всех стран уже с семидесятых годов прошлого века и проводился в жизнь. Как часто бывает в подобных случаях, формально он не был еще установлен, не было ясного и четкого технического его оформления.

§ 29. Описание выполненного выправления перекатов и отдельных участков рек

1. Французские реки

Французские гидротехники при выправлении рек придерживаются метода Жирардона. По этому методу выполнена большая часть выправительных работ меженного русла р. Роны. Выправление Роны представляет интерес еще и потому, что эта река с довольно значительным падением и скоростями течения. Падение Роны между впадением в нее притоков Эна и Саоны — 0,81 м на 1 км; между впадением Саоны и Изера — 0,50 м на 1 км и на 80 км ниже Изера — 0,77 м на 1 км. Рона возвышается над уровнем моря на 100 м в 215 км от моря, тогда как Гаронна — в 360 км, Луара — в 398 км, Везер — в 399 км, Рейн — в 621 км и Волга — более чем в 2000 км. При высоких уровнях расход Роны выше Лиона около 7000 м³/сек, а в межень около 170 м³/сек. Скорость течения в межень — до 2,5 м/сек, в высокую воду — до 3,5 м/сек. Русло и наносы преимущественно гравелистые.

Выправительная трасса на Роне была назначена применительно к законам Фарга, причем ширина ее определялась предварительно по формуле:

$$b = \frac{Q}{c \sqrt{t^3 i}},$$

где Q — расход воды на выправляемом участке, t — средняя глубина, i — средний поверхностный уклон; все при меженном уровне; c — коэффициент формулы Шези.

Формула эта выведена из сопоставления формул Шези:

$$v = c \sqrt{ti} \quad \text{и} \quad Q = btv,$$

где b — ширина живого сечения, откуда и определено b .

Полученная таким путем величина ширины трассы на отдельных участках была прокорректирована с шириной на соседних благоприятных для судоходства участках и оказалась достаточно близкой, потребовав лишь небольших исправлений. Для части реки от устья Саоны и до устья р. Дюранс ширина изменялась от 130 до 180 м (рис. 88) при изменении меженных расходов от 290 до 425 м³/сек. В вогнутых частях, в отступлении от законов Фарга, трасса была запроектирована однообразной ширины, причем очертание выпуклого берега было параллельно очертанию вогнутого. Сделано это было для упро-

щения трассировки в предположении, что течение само придаст выпуклому берегу надлежащее очертание в плане. Поэтому при трассировании вершина трассы на изгибе была намечена почти на середине вогнутой кривой берега. Считая по оси, трасса отстояла от берега на расстоянии, равном от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{4}$ ширины русла, если вогнутый берег составлял границу трассы, и на значительно больших расстояниях, если вогнутый берег имел значительную кривизну и его приходилось выправлять.

Кривая вогнутого берега очерчивалась по дугам круга различных радиусов, постепенно уменьшающихся к вершине кривой, где они для различных участков колебались в пределах от 450 до 1000 м.

В исключительных случаях применялись и значительно более пологие кривые, радиусы которых доходили до 5000 м. Пологих кривых вообще избегали, чтобы не получить почти прямолинейного расположения трассы, отличающегося, как было замечено, сравнительно меньшей устойчивостью глубин. Точно так же избегали и слишком крупных кривых, чтобы не получать узкого судового хода, слишком близко располагающегося к берегу. Прямые вставки при переходе трассы



Рис. 85.

от одной кривизны к обратной применяли возможно реже, причем длина их не превосходила 400 м.

Поперечные сооружения (рис. 88), очерчивавшие скелет выправительной трассы, предпочитали для упрощения разбивки размещать на однообразном по бытовым условиям участке реки, на одинаковом расстоянии друг от друга, сближая их лишь на более затруднительных местах трассы. Расстояние между ними колебалось от 60 до 150 м. Располагали их с наклоном против течения так, что направления их пересекались на оси выправительной трассы почти под постоянным углом в 160° (рис. 85). В прямолинейных частях трассы биссектриса этого угла совпадает с касательной в вершине угла кривой, по которой располагается ось трассы. По мере увеличения кривизны вогнутой кривой, т. е. с уменьшением радиуса кривой, угол между биссектрисой и положением касательной увеличивается и биссектриса отклоняется к выпуклому берегу. Величина угла между касательной и биссектрисой может достигать до $5-6^\circ$ (рис. 85) и тогда буны со стороны вогнутого берега пересекают ось трассы под углом в $75-74^\circ$, а со стороны выпуклого берега — под углом $85-86^\circ$. Изменение наклона каждой буны в общей их системе производится постепенно во избежание резких отклонений одной буны по сравнению с соседними.

Поперечный профиль трассы очерчивается по двум дугам параболы (правая сторона по своей дуге, левая — по своей, отлич-

ной от правой) с общей вершиной на оси трассы и закрепляется по периметру живого сечения поперечными сооружениями из каменной наброски.

В соответствии с законом смещения глубин Фарга наибольшая глубина у вогнутого берега запроектирована примерно на 80 м ниже середины кривой наименьшего радиуса, а наименьшая глубина — около 80 м ниже прямой вставки перехода к кривой обратной вогнутости. В связи с изменением радиуса кривизны наибольшая глубина вдоль вогнутого берега колеблется от 2,50 до 4 м, а наименьшая — в зависимости от местных условий — от 1,60 до 2,50 м.

Переход от наименьшей глубины к наибольшей происходит постепенно по синусоиде, определяемой уравнением:

$$y = \frac{a-b}{2} \sin \frac{\pi x}{2L},$$

где a — наибольшая и b — наименьшая глубина, а L — половина развернутого расстояния при расчетном уровне между точками наибольшей и наименьшей глубин (рис. 86).

Каждый поперечный профиль, как правило, закрепляется двумя (по одной с каждого берега) донными полузапрудами, корни которых располагаются по урезу расчетного горизонта, а головы встречаются на оси трассы. Гребни донных полузапруд в пределах судового пути лежат ниже расчетного положения дна русла (для безопасности судов), ввиду чего точка пересечения их голов опускается ниже расчетного дна в среднем на 1,0—1,50 м. Уклон гребней донных полузапруд правого и левого берегов, вследствие почти симметричного профиля, обыкновенно делают одинаковым. По длине вогнутого берега он колеблется от 1,25 до 1,75‰. В вершине вогнутого берега, где профиль уже несимметричен, уклон гребней достигает своего максимума, увеличиваясь на 4—5‰ для вогнутого берега и на 2,5—3‰ — для выпуклого.

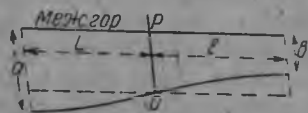


Рис. 86.

Донные полузапруды примыкают со стороны берегов к бунам, гребень которых возвышается над расчетным уровнем. Гребни голов бун располагаются по урезу расчетного уровня. Как головы, так и гребни бун вогнутого берега по уклону отличаются от бун выпуклого берега. Откосы голов, являясь границей параболического очертания живого сечения, должны иметь уклон не меньше уклона касательной к параболе в точке ее пересечения с расчетным уровнем. Уклон откосов голов колеблется в пределах от 6—8 до 15—20‰, достигая максимума у вершины кривой вогнутого берега и имея минимум у вершины выпуклого берега. Изменение уклонов идет по кривой по закону синусоиды. Уклон гребней бун находится в соответствии

с уклоном гребней донных полузапруд, колеблясь в общем в пределах от двух третей до половины величины уклона последних.

В точках перехода (перегиба) вогнутой кривой одного берега к кривой противоположного донные полузапруды не смыкаются и поперечный профиль имеет вид, показанный на рис. 87.

Если вогнутый берег выправительной трассы ограничивается дамбой (т. е. продольным сооружением), а это делается в случаях, если граница трассы сравнительно далеко отходит от естественного берега, то дамбу обычно соединяют с берегом траверсами, располагая их вдвое реже, чем бун. Гребни траверсов имеют подъем к берегу с уклоном несколько меньшим, чем уклон гребней бун.

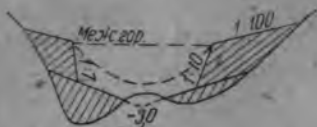


Рис. 87.

Гребень дамбы возвышается над расчетным горизонтом у вершины кривой вогнутого берега на 1,0—1,50 м и непрерывно понижается до соседних выпуклых берегов, т. е. до перегибов трассы, где совпадает с уровнем расчетного горизонта.

Общее расположение сооружений на одном из участков Роны показано на рис. 88.

Выправительные сооружения на Роне строятся преимущественно из каменной наброски, как наиболее дешевого и имеющегося по берегам всей реки материала. Ввиду значительных скоростей течения камень погружался или при помощи трубы, которая опускалась почти до дна, или опрокидывающимися ящиками, которые переворачивались на желаемой глубине и вываливали камень.

Во избежание резкого воздействия сооружений на поток принимали меры к смягчению их форм. Например, к речным откосам дамб, чтобы смягчить соединение

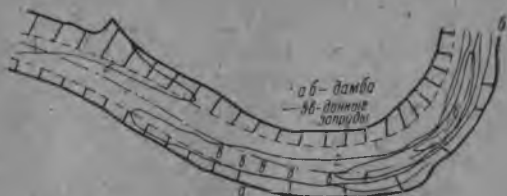


Рис. 88. Регулированный участок р. Роны.

их с дном, подсыпали рисбермы и иногда укладывали донные запруды, у голов бун вблизи основания смягчали уклоны, чтобы переход ко дну был более плавным и т. п. Чтобы менее резко нарушать режим реки, сначала строили сооружения с более пологими уклонами гребней, стараясь, где это представлялось возможным, строить их сериями для получения большего эффекта. Выжидали результатов их воздействия на поток и, если это было необходимо, строили следующие сооружения.

Такое исключительно внимательное отношение к выправлению принесло и свои результаты, которые характеризуются следующими данными (табл. 3, стр. 160).

До производства работ навигация прерывалась в среднем на 70 дней каждый год, после выполнения работ — только на 3 дня. В настоящее время в течение 9 месяцев глубина держится не

	До работ	После работ						
		1885 г.	1890 г.	1895 г.	1900 г.	1905 г.	1910 г.	1915 г.
Наименьшая глубина при расчетном уровне . . .	0,40	0,85	1,20	1,25	1,25	1,25	1,35	1,35
Перекаатов с глубиной, при расчетном уровне, меньше 1,3 м . .	107	20	6	5	2	1	0	0
То же с глубиной, менее 1,6 м . . .	105	77	24	31	16	13	9	7

менее 2 м, тогда как до работ такая глубина держалась только 3 месяца. Глубина не менее 1,60 м теперь держится 11 месяцев вместо бывших 5,5 месяца; глубины не менее 1,40 м — в течение 11 месяцев вместо 7 месяцев ранее.

Землечерпание применялось в сравнительно небольших размерах, как это свидетельствует проф. Фуррей (Cours de navigation intérieure, 1929, 1 partie, p. 177).

Таким образом следует признать, что выправление Роны дало хорошие результаты.

Надо отметить, хотя это и не умаляет значения выполненных работ, что значительное падение реки все же затрудняет взводное судоходство по Роне и после выправления. Скорости течения при низких уровнях колеблются от 1,20 до 2,50 м/сек, а в высокие воды — от 2 до 3,5 м. В результате себестоимость перевозок только немногим ниже, чем по железным дорогам. Это заставляет думать о шлюзовании Роны.

Вполне удовлетворительные результаты дало и выправление Луары (Франция), реки с умеренным падением¹, значительно меньшим, чем падение Роны, но с более значительным расходом воды, достигающим при высоких уровнях у Бриара 9000 м³/сек. (на Роне 7000 м³/сек), а в межень — около 35 м³/сек.

Выправление, начатое в 1905 г., производилось по тем же принципам, что и на р. Роне, с той лишь разницей, что донных полузапруд на Луаре не применялось. В них не оказалось надобности: выправлен был участок реки, падение на котором не превышало 0,17 м на 1 км, так что скорости течения были небольшими и устойчивость русла достаточно обеспечена одними бунами (рис. 89).

Ширина русла Луары при средних меженных уровнях около 500 м; выправительная трасса была принята для низких межен-

¹ От Бриара до Орлеана 0,41 м на 1 км, от Орлеана до впадения р. Шер — 0,37 м, далее до впадения Вьенна — 0,28 м, от впадения Вьенна до впадения Мена — 0,20 м и от устья Мена до Нанта — 0,16 м.

них уровней шириной в 150 м в соответствии с шириной естественно хороших участков реки. Местами трасса проходит по более узким судоходным рукавам; здесь она не расширялась. Трасса располагается по дугам кругов, радиусом от 500 до 5500 м (рис. 89). Судовой ход идет по середине трассы, приближаясь к вогнутым берегам в их вершинах. Здесь ось его отстоит от границы трассы (т. е. искусственно созданного берега) примерно в



Рис. 89. Регулированный участок р. Дуары.

расстоянии одной трети ее ширины (50 м).

Для ограждения трассы применены дамбы с траверсами и буны. Буны наклонены против течения (рис. 89), продолжения их направлений сходятся на оси трассы под углом от 150 до 170°.

Продольные сооружения, дамбы, усиленные траверсами, применялись для образования только вогнутых берегов. Гребень их возвышается над расчетным уровнем на 1,0 м в вершине вогнутого берега, сохраняя это возвышение на протяжении одной

восьмой всей длины дамбы вверх по течению от вершины вогнутой кривой и на четверть — вниз по течению. Далее высота дамбы к ее концам снижается до уровня расчетного горизонта реки. Дамбы для облегчения образования перегибов трассы заканчивались в 150 м от точек перегиба.

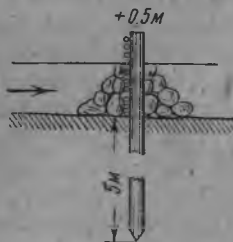


Рис. 90.

Буны и траверсы строились следующим образом. По их оси устраивали плетень на сваях, диаметром 0,20 м, забиваемых через 1,50 м в среднем на глубину до 5,0 м с повышением их вершины на 0,50 м над расчетным уровнем реки (рис. 90). Плетень заплетали редкий, с расстоянием между хворостинами в несколько сантиметров (5—6), так что получалась сквозная плетневая стенка. Перед этой стенкой и сзади нее делалась каменная наброска небольших объемов, создававшая проницаемую течением, фильтрующую буну, умеряющую скорости течения, но и позволяющую части наносов проходить через нее.

Дамбы, ограждающие вогнутые берега, первоначально строили по типу бун, но так как берег вследствие проницаемости дамб формировался слишком медленно, а иногда даже продолжал размываться, перешли к несколько иному типу (рис. 91). Забив по границе трассы, определяющей вогнутый берег, сваи как и в бунах, но более часто, с возвышением их вершин на 1,25 м над расчетным уровнем, связывали сваи схватками на высоте 1,0 м над расчетным уровнем. Сохраняя принятый продольный профиль дамбы, линию вершин свайной стенки

снижали к концам дамбы до отметки $+0,25$ м над расчетным уровнем, схватки снижали до расчетного уровня. Плетня не делали, а вместо него примерно на $1,0$ м выше и ниже расчетного уровня обшивали сваи со стороны реки дощатыми щитами толщиной в 2 см и делали каменную массивную отсыпь, поднимая ее до отметки $+0,50$ м над расчетным уровнем и снижая к концам дамбы до расчетного уровня. Пространство между естественным берегом и дамбой заваливали песком. Высота таких дамб над дном реки колебалась от $2,50$ до $4,0$ м.

Надо заметить, что основной причиной применения описанных типов являлось стремление к экономии.

На выправленном участке (от устья Мена до Монтжана) образовался удобный судовый ход с глубиной $1,40$ м при средних меженных уровнях вместо бывшей до работ глубины $0,50$ м.

Участок реки выше Монтжана был также выправлен, только без оформления выпуклых берегов сооружениями, чтобы не сужать вообще узкого русла. Таким образом здесь было применено одностороннее выправление. Глубина получилась та же, что и на участке, описанном выше, ниже Монтжана.

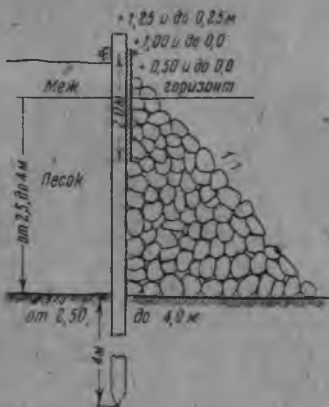


Рис. 91.

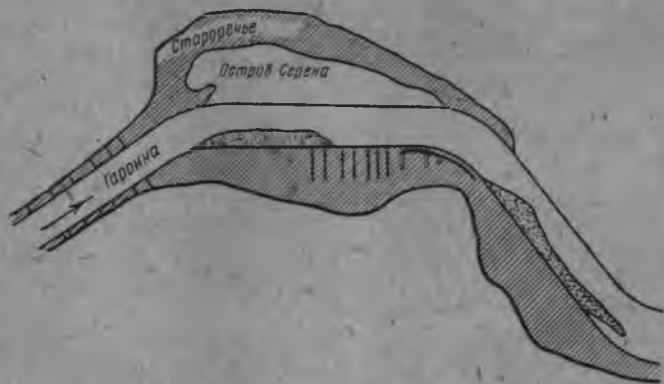


Рис. 92.

Выправление, примененное в большом масштабе на р. Гаронне (Франция), привело к иным результатам.

Падение р. Гаронны на первых 48 км течения 27 м, затем между Тулузой и устьем р. Тар оно снижается до $0,61$ м на 1 км, далее до устья р. Лё (Lot) — $0,60$ м, затем до Кастэ, где начинается обходный канал, — $0,31$ м, от Кастэ до Лянжуарана — $0,17$ м и далее до Бордо — $0,05$ м на 1 км. Расход при высоких

уровнях у Тулузы равен $6000 \text{ м}^3/\text{сек}$, т. е. в 167 раз более, чем в межень, когда величина его несколько менее $36 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Русло Гаронны, шириною в естественном состоянии при низких уровнях от 70 до 300 м, каждый год меняло свое положение; так например, около Серены (рис. 92) правый берег в течение 42 лет отступал от своего первоначального положения на 500 м. Первые выправительные работы были начаты



Рис. 93.

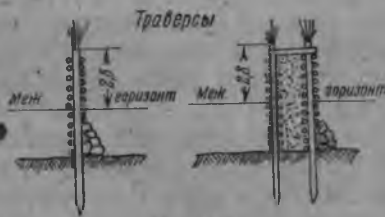


Рис. 94.

в 1835 г. на участке в 181 км длиной, лежащем в 20 км выше Бордо.

Первоначально ширина выправительной трассы была принята от 175 до 180 м ниже устья р. Лё и в 150 м выше этого притока с уширением в вогнутостях большой кривизны: Оба берега были искусственно созданы при помощи почти параллельных дамб.



Рис. 95.

Когда стали известны законы Фарга, трасса была выправлена в соответствии с их требованиями. Дамбы соединялись с берегами траверсами. Гребни дамб и траверсы, сначала возвышавшиеся над расчетным уровнем (средним меженным) на 1,0 м,

были позже подняты до высоты 2,8 м, что привело к сосредоточению течения в едином русле не только при средних меженных уровнях, но и во время нормальных летних паводков. Все рукава были заграждены. Применявшиеся типы дамб и траверсов показаны на рис. 93—95.

Для уменьшения скорости течения и в целях создания более благоприятных условий для отложения наносов за дамбами и траверсами в плетни втыкали пучки зеленых ивовых ветвей высотой от 1 до 2 м над гребнем сооружения. Комли ветвей спускались несколько ниже расчетного уровня реки.

Высота сооружений и амортизаторы скорости из ветвей имели целью улучшить и ускорить отложение наносов за сооружениями, так как наблюдения показали, что при такой высоте сооружений наносы оседают энергичнее. Отложения наносов за дамбами и запрудами рукавов, достигшие желаемой высоты, закреплялись рассадой черенков ивы.

Описанное выправление было основано на принципе стеснения живых сечений потока. Размывы русла наблюдались и доходили местами до глубины в 5 м, а иногда и более, восстанавливаясь только при встрече каменистых слоев, попадавших под руслом. Искусственными мерами размывов дна русла не задерживали. Местами в русле получалось, наоборот, обмеление.

Продольный профиль низких вод определенно приближался к среднему нормальному профилю реки, сохраняя обычную ступенчатую форму. Продольный профиль по дну точно также сохранял обычное деление на плесовые и перекатные части.

Поперечные профили русла получили более правильную вогнутую форму вместо бывшей ранее плоской и изрезанной местными углублениями.

Меженный уровень значительно понизился,— на некоторых участках до 1,50 м. Это имело результатом значительное увеличение уклонов выше выправленного участка и поднятие дна русла от 15 до 30 см на протяжении до 3 км ниже участка.

Достигнув закрепления благоприятного расположения в плане русла при среднемеженных уровнях, выправление все же цели полностью не достигло, так как глубины на одних участках в межень оказались не более 50 см, падая на перекатах до 25 см, а иногда даже до 10 см, а на других колебались от 50 до 100 см.

Такие глубины, почти не отличаясь от глубин, бывших до выправления, не могли, понятно, удовлетворить судоходство.

Надо отметить, что на участках реки, где при выправлении руководствовались законами Фарга, результаты получились лучшие: перекаты стали устойчивы и значительно углубились. На некоторых из них глубина получилась в 2,9 м вместо бывшей до работ в 1,0 м. В последнее время были приняты меры к улучшению судоходных условий на выправленных участках при помощи систем бун, с переустройством трассы по законам Фарга.

2. Германские реки

Обращаясь к рассмотрению выправительных работ на главных германских реках, надо сказать, что выправление их велось издавна. Начало их может быть отнесено к 1764 г. Более систематические работы были начаты с 1850 г., но так как они производились разрозненно, без достаточного изучения бытовых свойств реки, то положительных результатов не давали. Это между прочим послужило основанием к возникшему в те времена вопросу о бесполезности и нецелесообразности вообще выправления рек в интересах судоходства. Между специалистами возникли горячие споры, но в конце концов выправление было признано полезным, и в 1879 г. германским правительством была утверждена специальная программа улучшения судоходных условий рр. Рейна, Одера, Везера, Эльбы и Вислы. На выполнение работ было назначено 18 лет, с ассигнованием на все работы 22 миллионов золотых марок. Выправление этих рек было закончено в срок, т. е. в 1897 г.

Поэтому те принципы, на которых теперь основывается выправление и которые получили общее признание в 1894 г. на международном конгрессе по судоходству в Гааге, а затем и на позднейших конгрессах, в частности на конгрессе 1931 г., на методах германских выправительных работ полностью отразиться не могли. Они отразились постольку, поскольку в сознании гидротехников того времени уже созрела мысль о не состоятельности старых методов выправления и необходимости переходить к новым и поскольку новые принципы начали уже частично проникать в производившиеся работы.

Метод выправления, применявшийся германскими гидротехниками в 1879—1890 гг., заключался в следующем. Принципа сосредоточения меженных вод в едином русле они не придерживались строго, и поэтому мы встречаем выправленные перекаты с судовым ходом по двум рукавам. Применяя различного типа сооружения: дамбы, буны, запруды, донные полузапруды и пороги, а также укрепления берегов, они задавались целью создать удобно расположенный в плане судовый ход с заранее намеченной глубиной. С этой целью они стремились получить



Рис. 96.

однообразный „нормальный“, соответствующий бытовым условиям данного участка реки поперечный профиль русла и однообразный поверхностный уклон течения.

Поперечный профиль принимался обыкновенно двухъярусный, трапециoidalный для средних уровней реки и для низкой межи (рис. 96) или для средней. Ширину профиля для низкой межи определяли по упоминавшейся уже выше формуле

$$b = \frac{Q}{c \sqrt{Ri}}$$

и, разделяя реку на гидрологически однообразные участки, для каждого определяли свою ширину. Так как по течению реки ширина русла обыкновенно увеличивается по мере приближения к устью, то в соответствии с этим и ширину выправительной трассы увеличивали к устью. Так, для реки Одера она от 35 м в верхнем его течении возрастает к устью до 132 м при ширине русла от 100 до 350 м, на Рейне в нижнем его течении достигает 450 м и т.д.

Установив нормальную ширину трассы на выправляемом участке и проверив ее соответствие с требованиями судоходства, германские гидротехники определяли ширину русла средних вод. Зная это и зная высотную отметку уровня средних вод, находили уклон откосов верхнего русла (рис. 96).

Ось выправительной трассы намечали по середине трассы, т. е. не считаясь с приближением судового хода к вогнутым берегам.

Глубину судового хода назначали в соответствии с естественной глубиной на соседних участках реки.

Что касается расположения сооружений, то долгое время, особенно в Северной Германии, вогнутые границы трассы окаймляли почти исключительно бунами. Затем перешли к глаголеобразным бунам, причем продольную их часть строили низкой, ниже поперечной. В последние годы перешли к продольным дамбам. У подошвы дамб, со стороны реки, для защиты их основания от размыва и для отклонения судового хода от слишком близкого расположения к дамбе, устраивались донные полузапруды. Дамбы соединяли с берегом траверсами.

Нередко вместо дамб применяли опояски. Бывали и отступления от описанных способов укрепления вогнутого берега.

Буны по обоим берегам размещались одна против другой, как и при выправлении французских рек, с наклоном против течения и с подъемом их гребня от голов к корням, которые не поднимались выше бровки берега, тогда как головы бун имели гребень в уровне расчетного горизонта.

Расстояние между бунами очень часто бывало больше ширины трассы, но уменьшалось при расположении бун на вогнутых участках реки и увеличивалось при расположении у выпуклых берегов.

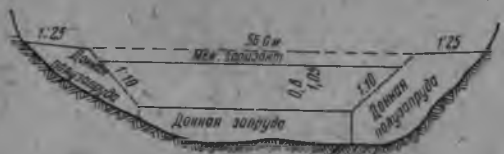


Рис. 97.

Сравнительно широко применялись донные запруды или пороги с целью уменьшения излишней глубины, а также для увеличения ширины судового хода путем размыва частей русла, прилежащих к порогу и имеющих большую высотную отметку.

Донные пороги, защищая дно русла от дальнейшего размыва, препятствовали этим и понижению меженного уровня. Гребни их располагали обыкновенно горизонтально (рис. 97). Если пороги располагались между бунами, их примыкали к головам бун, а если ставили отдельно от бун, то иногда выносили несколько вперед по течению, примыкая их к берегам наклонными (в плане) корнями.

Материалом для постройки ранее служил главным образом хворост в виде тяжелых фашин и толстых тюфяков, а в более позднее время стали преобладать камень и гравий, особенно на Рейне.

Постройку сооружений вели очень часто этапами, возводя их не сразу на проектную высоту, а постепенно, в несколько периодов, широко пользуясь помощью землечерпания.

Ознакомившись с общими установками немецкого метода выправления, рассмотрим применение его на выправлении одного из наиболее затруднительных перекатов на Нижнем Рейне, Меркенихского, на котором надо было получить глубину в 3,0 м.

Меркенихский пережат лежит в 9 с небольшим километрах ниже Кельна. Подходя к Меркениху (рис. 98), Рейн делает довольно крутой поворот на запад. Выше Меркениха низкий правый берег, заливаемый высокими водами, приближаясь к Флиттарду, возвышается вплоть до Виздорфа и становится ведущим. Левый берег, не заливаемый высокими водами до Флиттарда, отсюда



Рис. 98. Выправление Меркенихского пережата на Рейне.

понижается и на дальнейшем протяжении заливается высокими водами. Ниже Виздорфа начинается заливаемая долина р. Вуппера, притока Рейна (рис. 99). Таким образом вниз от Виздорфа оба берега низменны. Русло высоких вод на линии Виздорф — Меркених почти в полтора раза шире, чем при Флиттарде, а ниже Виздорфа, соединяясь с затопляемой долиной р. Вуппера, рас-



Рис. 99.

ширяется более, чем в пять раз. Высокие воды, встречая незаливаемый берег, предшествующий Виздорфу, отклоняются сначала к Меркениху, а затем устремляются к устью Вуппера. Течение при средних и низких уровнях идет вдоль виздорфского берега, а затем, встречая устьевые мели Вуппера, круто поворачивает к левому берегу и проходит через Меркенихский

перекат, питающийся главным образом наносами р. Вуппера. Перекат был мелок и представлял судоходству большие препятствия. Высокие воды разрушали преимущественно левый меркенихский берег, а средние и низкие — правый берег.

Первые более серьезные попытки улучшить судовой ход на перекате были сделаны в 1839—1841 гг.; виздорфский берег был укреплен донными полузапрудами, а со стороны меркенихского берега было построено шесть бун (рис. 98). Между бунами и донными полузапрудами скоро отложились наносы, и берега перестало размывать. Судовой ход не улучшился, и в 1849 г. Меркенихский перекат оказался самым мелким ниже Кельна; глубина на нем была 1,46 м, еще на двух перекатах было 1,64 и 1,73 м, а на остальных не менее 2,0 м.

Меркенихский берег ниже выстроенных бун продолжал размываться. В 1851 г. была построена еще одна буна, а пять старых были удлинены и соединены по головам дамбой для бечевника (рис. 98), поднимавшейся над средненизким уровнем от 1,6 до 2,3 м.

Берег продолжало размывать ниже бун, что вызвало постройку еще четырех бун. Буны возвышались над средненизким уровнем Рейна на 1,3 м.

В 1881 г. и на виздорфском берегу, чтобы направить течение на мели переката, а вместе с тем выправить положение судового хода и защитить берег от размыва, было построено 6 донных полузапруд. Головы полузапруд лежали ниже средненизкого уровня реки на 5,3 см, а корни их — на 1,5 м. Ширина гребня была 3,80 м. Берег между донными полузапрудами был укреплен.

Все эти меры оказались мало действительными для улучшения судовых качеств переката: глубина его не увеличивалась. Необходимо было, очевидно, обратить внимание на устье Вуппера и дать ему правильное впадение в Рейн. В этих целях в 1853 г. устье Вуппера было направлено по своему старому пути, по которому Вуппер впадал в Рейн в 1830 г.

Так как донные полузапруды около виздорфского берега все же несколько выправили расположение судового хода, их удлиннили, а корневые части повысили до высоты бун. Кроме того в 1862—1865 гг. ниже Виздорфа построили две буны и струенаправляющую дамбу около устья Вуппера (рис. 99).

Удлинение донных полузапруд и постройка новых бун, сжимающих поток перед входом на перекат и на самом перекате, представляют осуществление принципа водостеснительного метода.

Расположение судового хода улучшилось, глубины на нем несколько увеличились, но до желаемой проектной глубины было далеко. Не помогало и землечерпание: прорези скоро заносились.

Зимой 1879/80 г. виздорфские сооружения были значительно повреждены ледоходом и высокими водами.

09819

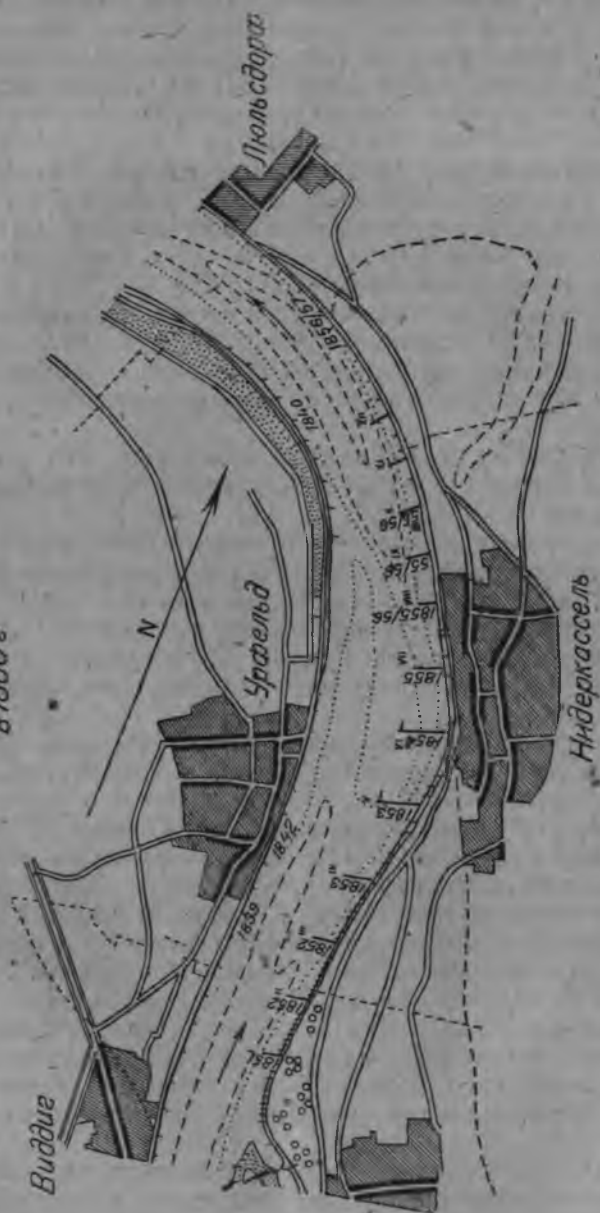


Рис. 100. Выправление Нидеркассельского перегиба.

168

местах, где расстояние между новыми бунами оказалось значительным, построили дополнительные буны, а перекат углубили землечерпанием. Вычерпанный гравий был употреблен на буны. В 1882 г. восстановлено береговое укрепление у Виздорфа, разрушенное ледоходом 1879/80 г.

Эти работы сами по себе не обеспечили намеченной по программе 1879 г. глубины в 3 м, но выправили положение судового хода в плане и облегчили значительно работы землечерпания, помогая поддерживать достигаемую землечерпанием глубину 3,20 м при средненизких уровнях Рейна. Землечерпание приходилось применять почти ежегодно, а в мелководные 1887—1889 гг. и по несколько раз в навигацию.

В 1890 г. Вуппер прорвал берег ниже своего устья. Прорыв был загражден, а устью снова было придано правильное положение дамбами из гравия с укреплением откосов каменной одеж-

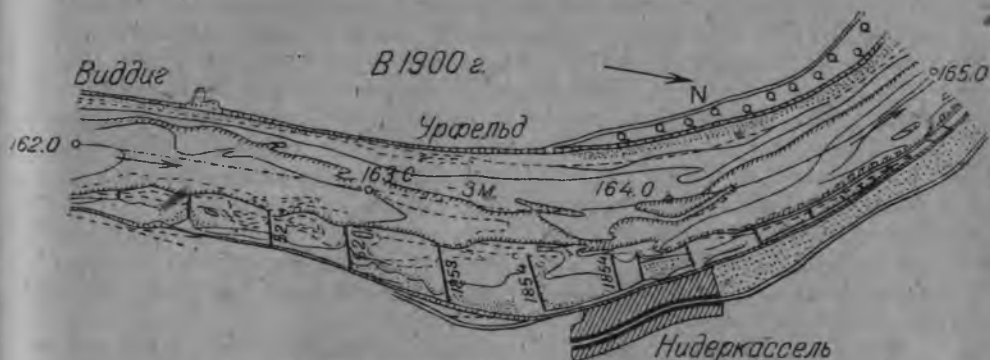


Рис. 101. Выправление Нидеркассельского переката.

дой. Ниже устья, чтобы выправить русло при выходе с переката, были построены две буны.

На этом работы были закончены. В течение последующих лет Меркенихский перекат периодически требовал землечерпательных работ, но глубина в 3 м на нем держалась достаточно хорошо. Нельзя не отметить, что достижение глубины в 3 м главным образом обязано здесь землечерпанию. Видимо углубление землечерпанием создает, дополнительно к воздействию на поток сооружений, условия, способствующие образованию в потоке благоприятных внутренних течений.

Выправление Нидеркассельского переката, находящегося выше Кельна, было гораздо удачнее. Хотя работы производились по принципу водостеснения, но и при современном понимании выправления их можно было бы выполнить таким же способом.

Между Виддигом и Люльсдорфом (рис. 100 и 101) Рейн течет по дуге радиуса около 3 км (2,93 км). Правый берег между Виддигом и Люльсдорфом постепенно размывался и уже в 1820 г. около Нидеркасселя, в наиболее расширенной части русла, появился песчаногравелистый осередок, вызвавший вскоре

образование переката. Мелкий и узкий судовой ход шел вдоль правого берега. В 1839—1842 гг. был укреплен левый берег до Урфельда, так как по этому берегу шел бечевник и глубины около него были довольно значительны. Укрепление этого берега способствовало дальнейшему размыву берега у Нидеркасселя и ухудшению переката. Он постепенно становился одним из наиболее мелких перекатов выше Кельна.

В 1851 г. в связи с выправлением выше- и нижележащих перекатов был составлен проект выправления и Нидеркассельского переката. Судовой ход было решено направить вдоль левого выпуклого берега по левому рукаву, придав правому берегу более правильное и пологое очертание, в плане и закрыв таким путем правый рукав. В соответствии с ниже- и вышележащими участками ширина русла была определена в 300 м.

В 1852 г. была начата у правого берега постройка бун по намеченной трассе. Левый берег был укреплен еще до начала работ. Буны строились постепенно, сверху вниз по течению, и были закончены в 1857 г. Было построено 12 бун (рис. 100) и от первой буны до Люльсдорфа, на длине 2470 м, — береговое укрепление каменной отсыпью с использованием бывших здесь уже давно донных полузапруд. Пятую и шестую буны дополнили с нижней по течению стороны короткими головными крыльями, чтобы прекратить начинающийся около них размыв русла. С этой же целью около девятой и десятой бун построили донные запруды (пороги), так как выявившийся около них размыв русла мог вызвать разрушение голов бун и кроме того повлиять на расположение судового хода.

Буны построены с постепенным подъемом гребней к корням. Гребни голов на 1,3 м выше расчетного уровня (средненизкий меженный), а корни — на 1,6 м.

После постройки шестой буны Нидеркассельская мель стала размываться и вскоре исчезла совершенно. На ее месте образовался достаточно глубокий и удобный судовой ход, передвинувшийся сюда от выпуклого берега, к которому отклонялся исчезнувшей мелью. В дальнейшем судовой ход уширился и стал вполне устойчивым; по глубинам (на нем при расчетном уровне от 2,5 до 3,0 м) он отвечает требованиям судоходства.

Нидеркассельский перекат по своему образованию и расположению один из наиболее легких перекатов для выправления. Здесь могло быть только одно решение, вполне ясное и определенное: сохранение и закрепление судового хода вдоль вогнутого берега, который к тому же является и ведущим берегом для высоких вод.

Долина реки здесь узкая, течение высоких и меженных вод идет одним руслом. Все эти условия гарантируют образование внутреннего течения комбинированного типа и прочное его сохранение. Не могло здесь быть другого решения и при применении принципа водостеснения. Единое русло высоких и меженных вод на перекате было значительно уширено. Сте-

снение его выразилось в приведении излишне увеличенной ширины к нормальной величине, наблюдаемой на выше- и ниже-лежащих плесовых участках реки. Выправление ширины бунами в данном случае экономически выгоднее, чем дамбой, которую пришлось бы усиливать траверсами и солидно укреплять от размыва ее основания.

Все главные германские реки выправлены подобным же методом (рис. 102 и 103). Результаты получились в подавляющем большинстве случаев благоприятные. Так например, на Рейне до выправления его по программе 1879 г. глубины были таковы: на Среднем Рейне (Кобленц-Кельн) при средненизких уровнях — до 1,78 м, на нижнем Рейне (Кельн — граница с Нидерландами) на трех перекатах — до 1,44 — 1,73 м, а на остальных — не менее 2,04 м, но с преобладанием глубин в 2,5 м. От Кобленца до Нидерландской границы на протяжении 273 км находилось 53 переката, требовавших выправления. Работы по

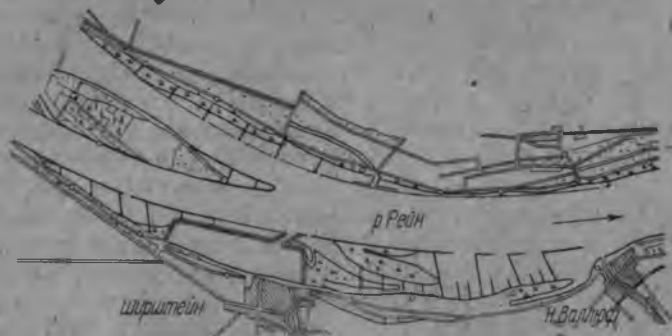


Рис. 102. Выправление у Ширштейна.

выправлению были начаты в 1879 г. и закончены в 1899 г. На 9 участках (17%) выправительных работ ранее не производилось. На остальных 44 участках развивались ранее произведенные работы иногда и с полной их перестройкой. Около 85% выправленных перекатов потребовали применения при выправлении землечерпательных работ, — иногда в крупных размерах. Около 15% перекатов было выправлено без применения землечерпания. Назначенная проектом глубина при средненизких уровнях в 2,5 м от Кобленца до Кельна и в 3,0 м ниже Кельна была достигнута. Судовой ход имел удобное расположение и ширину от 90 до 150 м.

За время с 1899 по 1904 гг. (включительно) около 75% выправленных перекатов имели и сохранили требуемую глубину; 22% потребовали дополнительных работ и на 3% перекатов работы оказались неудачными и цели не достигли.

В дальнейшем, когда было исправлено выправление и неудачных перекатов, периодически требовались, как требуются и теперь, только землечерпание и ремонт выправительных сооружений.

Метод выправления, применявшийся германскими гидротехниками в последние годы выправления рек по программе 1879 г., нельзя по существу называть водостеснительным.

Господствовавший первоначально взгляд, что реке надо давать самой, при помощи водостеснительных сооружений, разработать русло надлежащей глубины, не мог держаться долго. Непосредственный опыт довольно скоро начал показывать, что такая задача в очень многих случаях не под силу сооружениям. Это послужило толчком к применению в помощь выправлению землечерпания, которому с конца семидесятых годов германские гидротехники отводят все большую и большую область применения. Землечерпанием иногда начинают подготавливать русло для выправления, еще не приступая к постройке сооружений.

Рассчитывая ширину выправительной трассы по гидравлическим формулам, начинают их проверять, изучая благоприятные в судоходном отношении участки реки, и корректируют ширину проектируемой трассы по размерам хороших участков в натуре. Постепенно отказываются от строгого соблюдения единообразия поперечного профиля и т. д.

Таким образом метод выправления, применявшийся германскими гидротехниками, по практическому приложению скорее является переходным от водостеснительного к современному.

В настоящее время, как уже упоминалось выше, гидротехники склонны полностью от принципов водостеснения отказаться.

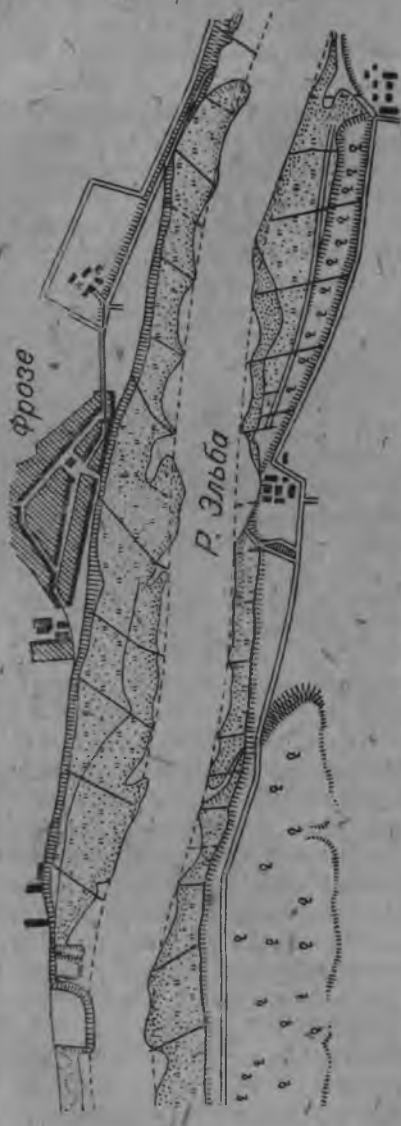


Рис. 103. Выправление р. Эльбы.

3. Выправление на реках СССР

На наших водных путях выправительные работы большого распространения пока еще не имеют. Наибольшее развитие они имели на реках Днепровского бассейна и в частности на самом

Днепре. Днепровские работы к тому же наиболее освещены в технической литературе и не только с производственной стороны, но и по результатам их воздействия на состояние судового хода (Выправительные работы на р. Днепре. Описание работ за время 1882—1913 гг. и достигнутых ими результатов. Составил К. А. Акулов. Петроград. 1914). Работы эти интересны еще и потому, что автором более крупных из них является инж. Н. С. Лежневский — первый наиболее близко подошедший к правильному объяснению механизма речного русла.

Одним из более сложных перекатов на Днепре являлся перекат Рудяки-Стайки. Находится он на 59 км ниже Киева и издавна представлял наибольшие затруднения для судоходства на Среднем Днепре. Глубина на нем едва достигала 0,98 м, тогда как наименьшая осадка судов на Днепре в мелководье принималась в 107 см.

Днепр делился у Рудяк-Стаек на ряд более или менее значительных рукавов (рис. 104 и 105, вклейка) — Пшеничный, Жерства, Глушец, Красуха. Пойма и берега реки сложены здесь из песчаных грунтов, весьма легкоподвижных, так что ни в одном из рукавов не мог образоваться надлежаще глубокий судовый ход. Бывали навигации, когда судовый ход менял свое положение несколько раз в течение лета и осени.

В 1895/96 г. перекаат был подробно обследован. На основании произведенных изысканий и сопоставления с состоянием перекаата за предшествующее время была намечена выправительная трасса. Ширина ее была принята на основании опыта выправления участка Днепра у Киева в 362 м (170 саж.).

Намеченную трассу считали только предварительной в предположении, что она потребует корректировки после сосредоточения меженных вод в одном русле, для чего проектом намечалось запрудить левый рукав в верхней части тремя донными туюфячными запрудами, а отделяющийся от него рукав Глушец (рис. 104) — туюфячными запрудами.

Запроектированное меженнее русло предполагалось огранить по границам трассы с обеих сторон бунами. Высота гребней их намечалась в уровне средненизкого горизонта реки.

До начала работ, в навигацию 1897 г., ход на перекаате значительно обмелел, и в пределах выправительной трассы была землечерпанием сделана (в августе) прорезь, едва продержавшаяся до конца навигации.

В зиму 1897/98 г. начаты были те из выправительных сооружений, необходимость в которых не вызывала сомнений. Это было заграждение рукава Жерства донными запрудами А и Б, и рукава Пшеничного — запрудой Г (рис. 104).

Построенные донные запруды неотклонили течения в главное русло, ход по которому стал обмелевать, так что пришлось произвести усиленное землечерпание.

Зимой 1898/99 г. донные запруды А, Б и Г были повышены, до уровня средних меженных вод, т. е. обращены в запруды

в рукаве Жерства построена, у впадения в него рукава Пшеничного, донная запруда Ж. Затем у верхнего истока рукава Пшеничного для отклонения из него течения построена струенаправляющая дамба, в рукаве Глушец (рис. 104) — три запруды и запруда в весенней ложине острова Байкова для преграждения весеннего течения из главного русла в рукав Глушец.

Запруды и дамбы строились из туюфачной кладки и имели трапециoidalное поперечное сечение. Ширина гребней запруд была 4,26 м, а дамбы — 2,13 м.

Для проверки правильности выбора трассы¹ в навигацию 1899 г. была сделана землечерпанием прорезь около правого берега несколько выше села Стаек. Прорезь хорошо держалась всю навигацию 1899 г., а после спада высоких вод 1900 г. на ее месте образовался судовой ход.

Руководствуясь этим, в 1900 г. перепроектировали расположение трассы (рис. 104) и в зиму 1900/1901 г. приступили к закреплению ее сооружениями. Для этого закончили береговое укрепление № 1, сделали укрепление № 2, построили струенаправляющую дамбу у нижнего конца рукава Жерства и две буны — № 1 и № 2 (№ 1 у о-ва Жерства и № 2 у о-ва Байкова).

В зиму 1901/1902 г. была построена бунa № 5 у левого берега, № 8 — выше буны № 1 и буны № 3 и 4. Эти буны должны были воспрепятствовать судовому ходу отклоняться от правого берега, так как после постройки буны № 2 течение непосредственно ниже нее резко отклонилось к левому берегу. Буны № 3 и 4 были построены не на полную проектную длину.

Обследование результатов действия построенных сооружений в 1903 г. показало следующее.

1. Песчаная коса, расположенная выше Витачевского водомерного поста, разрослась и удлинилась, причем при меженном уровне часть ее отделилась от берега в виде острова. Течение, отжимаемое косой, отклонившись к левому берегу, подмыло его и вызвало осадку укрепления № 1, затем струенаправляющей дамбы у истока рукава Пшеничного и в голове буны № 8.

2. У укрепления № 2 образовалась сухая коса, отклонившая течение к правому выпуклому берегу. Размывая этот берег, течение отклонялось к дамбе у нижнего истока рукава Жерства и размывало ее основание у нижней части укрепления № 2.

3. Песчаная коса у правого берега против дамбы у нижнего истока рукава Жерства увеличилась, закрыла больше половины трассы и вызвала, сужив русло, разрушение дамбы.

4. Судовой ход во многих местах был пересыпан песчаными мелями.

5. Течение от головы буны № 3 отклонялось к корню буны № 4, вследствие чего головные части бун № 3 и 4 стали подмываться, а русло начало раздвояться, и в 1904 г. судовой ход обмелел.

¹ В правильности трассы явилось сомнение вследствие того, что прорези сделанные землечерпанием, держались очень плохо.

Явления эти были крайне неприятны. Для парализования их в зиму 1903/1904 г. были построены буны № 6, 10, 11 и 12, а в зиму 1904/1905 г. — буны № 9 и 13 и отремонтированы все пострадавшие сооружения.

Поверочные обследования в навигацию 1905 и 1906 гг. показали:

1. Коса, бывшая против буны № 5, была смыта.
2. Коса у Витачевского водомерного поста перестала расти. Это было результатом действия бун № 9 и 10 и бун левого берега.
3. Коса, образовавшаяся у укрепления № 2, продвинулась вниз по течению почти к корню струенаправляющей дамбы у нижнего истока рукава Жерства.
4. Коса правого берега, ниже буны № 11, переместилась и частью совершенно размылась.
5. Судовой ход в нижней части переката отошел от правого берега (в 1905 и 1907 гг.) и прошел у головы буны № 4 над донным тюфяком, который был уложен при постройке этой буны полностью по проекту (сама буна, как указывалось выше, была недостроена).

В 1907/1908 г. (рис. 105) была построена буна № 7 у правого берега против головы дамбы у нижнего истока рукава Жерства, а в зиму 1908/1909 г. закончена постройка буны № 4 и выстроена буна № 16, чтобы направить течение снова к правому берегу. Так как это не повлияло на течение, оно к правому берегу не отклонялось и судовой ход был весьма искривлен, разделившись в 1909 г. на два направления (по правому берегу и вдоль этих бун), в зиму 1909/10 г. и летом 1910 г. были построены буны № 15 и 17, и этим работы по выправлению переката Рудяки-Стайки были закончены.

Результаты воздействия на поток вновь построенных сооружений видны на плане съемки 1911 г. (рис. 105).

Построенные сооружения, как показывает сравнение планов 1895 и 1911 гг., закрепили положение судходного меженного русла в долине реки, где оно раньше блуждало. Вместо широкого, до 1 км, русла от истока рукава Жерства до дер. Стаек, усеянного мелями, образовано нормально широкое и глубокое русло с плавным расположением по нему судового хода.

Перекат в последующие годы не затруднял уже судоходства, но периодически все же глубины на нем падали, ход искривлялся и требовалось применение замлечерпания. Были выполнены затем и некоторые дополнительные, но уже второстепенного значения работы для ликвидации следующих неблагоприятных явлений.

1. Коса у Витачевского водомерного поста подвинулась вниз по течению, отклонившись в реку и отжимая течение к левому берегу. Это вызывало размыв головной части буны № 1, размывы противоположного левого берега у входа в высохший рукав Жерству и берега у укрепления № 2. Последнее почти ежегодно подмывалось и оседало.

2. Коса, образовавшаяся около укрепления № 2, спустилась вниз к плотине у рукава Жерства и отжала течение к бунам № 10 и 11, вызвав размыв их основания.

3. Коса у бун № 11, 12, 13 и 14 спустилась ниже буны № 12, выдвинувшись в реку. В результате — искривление судового хода в левую сторону с выходом из границ трассы и частичные размывы русла головы дамбы у Жерствы и острова, лежавшего выше буны № 2.

4. Расположенный между бунами № 2 и 3 песчаный остров вытянулся к буне № 4, заставив судовой ход круто повернуть к правому берегу.

5. Буны № 2, 3, 4, 15, 16 и 17, различной длины (от 256 до 789 м), были построены одна от другой в расстоянии от 640 до 750 м (при ширине трассы в 353 м). Течение размывало со сливной стороны подошву основания бун и берег у корней и вымывало междубунные отложения наносов, вынося их на трассу. Отлагаясь на последней, они искривляли судовой ход.

При выправлении переката широко применялось и землечерпание. Достаточно указать, что в 1904 г. землечерпанием углублялся судовой ход у правого берега против бун № 3 и 4 и подрезывалась песчаная коса, выступавшая на судовой ход от правого берега против дамбы у нижнего истока рукава Жерства. Землечерпательница (Днепровская 2-я) работала с 27 июня по 16 октября.

В 1910 г. землечерпанием был уширен судовой ход против укрепления № 2 и сделана подсыпка грунта для закрытия рукава ниже буны № 2, у откосов укрепления № 2 и буны № 16 и засыпана вымоина ниже корня буны № 4. Применялось землечерпание и в последующие годы.

Познакомимся с выправлением еще одного из днепровских перекатов. Это перекат у дер. Теремцы на участке Днепра между устьями рр. Припяти и Сожа, представляющий в сущности три переката, следующих один за другим (рис. 106, вклейка).

У дер. Теремцы ширина Днепра при меженном уровне местами достигает 640 м, причем Днепр делится здесь на несколько рукавов. При низких меженных уровнях судовой ход, мелкий и извилистый, менял на перекатах свое положение, иногда по нескольку раз в течение навигации. Глубина на каждом перекате падала при этом ниже 70 см.

Ежегодный весьма значительный размыв берегов питал этот участок реки изобильными наносами.

В навигацию 1900 г. вода в реке стояла низко и наибольшее затруднение для судоходства представлял средний перекат, располагавшийся сейчас же ниже острова при соединении правого и левого рукавов (рис. 106).

Для улучшения положения здесь были построены три буны временного типа (на рис. 106 — они названы временными плотинами 1, 2 и 3).

В том же 1900 г. был разработан проект выправления Терем-



БИБЛИОТЕКА
 Нравосудия и Института
 инженеров водного транспорта

3

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

цовских перекаатов, причем предположено было сосредоточить течение в одном русле, направив его вдоль правого берега под дер. Теремцы. Левый, судоходный в то время, рукав решено было закрыть, приняв меры против размыва берегов в новом русле.

В 1901 г. приступили к укреплению правого берега ниже деревни в урочище Пуховка. Работы были закончены в январе 1902 г. Был укреплен хворостяными тюфяками правый берег (укрепление № 3) в двух местах: *АБ* — на длине 639 м и *ВГ* — длиной 170,5 м и был закрыт земляной запрудой проток весенней воды около укрепления *ВГ*. Надводные откосы укрепленных берегов были спланированы уклоном 1:3. Запруда была шириной по гребню 4,26 м с откосом со стороны реки с уклоном 1:3, а со стороны берега 1:2. Речной откос и гребень были покрыты хворостяным тюфяком, а сливной откос — хворостяной выстилкой. Запруда входила в состав берегового укрепления *ВГ*.

Высокие весенние воды 1902 г., произведя в районе перекаатов размывы берегов, главным образом правого, размывы значительно и неукрепленную часть берега (ее длина 101 м) между укреплениями *АБ* и *ВГ*. По левому берегу в урочище Кисляк незначительный весенний проток Прусово, шедший в обход коренного русла, разработался так сильно, что по нему в низкую воду совершалось все судоходство, по старому же руслу, которое обмелело, шли только плоты. В 1903 г. все судоходное движение шло этой протокой, хотя она была еще узка.

Так как допускать дальнейший размыв берегов было нежелательно — они бы ушли далеко от границ выправительной трассы, с которыми стали совпадать, — то в 1902 и 1903 гг. были выполнены следующие работы.

1. Построена часть ЖЗК берегового укрепления № 4 по левому берегу длиной 809,4 м с двумя входящими в состав укрепления земляными запрудами, закрывавшими рукав Кисляк и протоку Озерицу.

2. Построены части укрепления № 3 у дер. Теремцы: *ДЕ*, длиной 346 м и ниже укрепленна часть берега *БВ* между ранее выполненными укреплениями.

3. Уложены донные тюфяки для бун № 2 и 3; под буну № 3 полностью (на длину 404,7 м), а под буну № 2 только частью (130 м).

Предполагавшееся заграждение левого рукава было отложено впредь до подготовки правого протока (Прусово) землечерпанием.

В 1903 г. опять был размыв правый берег непосредственно выше деревни и настолько, что отошел от границы трассы, а также около деревни выше и ниже укрепления № 3, что уже грозило искривлением выправительной трассы. Ввиду этого, чтобы предупредить дальнейший размыв, в 1903/1904 г. были построены от правого берега непосредственно выше деревни две струенаправляющих дамбы из тюфячной кладки с откосами 1:1, с гребнями шириной 2,13 м, одна длиной 149 м, а вто-

рая — 176 м. Затем было удлинено вверх (на 169 м) и вниз (на 378 м) укрепление № 3 и возвышено основание буны № 3 укладкой еще одного тюфяка.

В правом рукаве начато было землечерпание. Сделаны были две глубоких прорези, но они постепенно обмелели.

После спада весенних вод 1904 г. оказалось, что течение в левом рукаве усилилось и корневое укрепление буны № 3 сильно размыто.

В 1904 г. продолжали работы по углублению землечерпанием правого русла и к концу навигации настолько его углубили, что судоходство совершалось по нему совершенно свободно. В течение зимы 1904/1905 г. для ослабления течения в левом рукаве повысили уложенные под буны № 2 и 3 донные тюфяки. Поперек левого рукава между бунами 2 и 3 уложили хворостяной тюфяк и закрыли тюфяками ложбины на острове ниже буны № 3. Кроме того, опять продолжили укрепление № 3 на 121,5 м вниз по течению (укрепление № 3 — ДЕАБГ).

После спада весенней воды 1905 г. было установлено обмеление левого русла и небольшое обмеление нижней части прорези в правом рукаве, а также подмыв подошвы укрепления № 3. Русло около него получило в подводной части треугольную в поперечном сечении форму с наибольшей глубиной в 1,05 м (при средненизком уровне по Лоевскому водомерному посту) под самым укреплением берега. Некоторые сооружения частично, но незначительно, были повреждены.

В 1906 г. части берега, остававшиеся неукрепленными между частями укрепления № 3, были размыты до границ трассы и продолжался размыв подошвы верхней части укрепления № 3 на длину около 260 м.

Поэтому в том же 1906 и затем 1907 гг. берег между неукрепленными частями укрепления № 3 был укреплен и защищена подошва этого укрепления в конце верхней ее части погрузкой тюфячных траверсов (ленточных тюфяков). Кроме того, сооружения были отремонтированы. После спада высоких вод 1907 г. было установлено замеление левого (бывшего судоходного) русла и размыв подошвы укрепления № 3 непосредственно ниже деревни, а также размыв неукрепленной части левого берега ниже конца укрепления № 4 (или ЖЗ).

Глубина воды при средненизком уровне на верхней части переката (выше деревни) была 2,13 м, а в нижней его части (ниже деревни) — вдвое меньше.

В зиму 1907/1908 г. было удлинено укрепление № 4 левого берега на 34 м, а в 1909 г. укреплен сильно размывавшийся правый берег ниже конца укрепления № 3. На этом работы были закончены.

В последующие годы судовой ход по правому рукаву держался хорошо, требуя лишь периодически углубления землечерпанием, левый же рукав стал значительно мельче.

Достаточно подробно изложенный порядок выполнения вы-

правительных работ на днепровских перекатах указывает на очень большую осторожность, проявленную в практике их производства. Осторожность эта, с одной стороны, граничит с некоторой неопределенностью не только программы работ, но и самого проекта, с другой — и с некоторой неуверенностью в отношении характера и результата воздействия части или группы сооружений на поток. Отсюда, естественно, и совершенно неожиданные и нежелательные иногда явления в быте реки, проявляющиеся после постройки одного или группы сооружений и ухудшающие создавшееся благоприятное положение выправительной трассы или судового хода.

Подобного рода положение наблюдается нередко и в заграничной практике выправления рек, что отмечено выше.

Объясняется оно малым нашим знакомством с бытом рек вообще, а перекатов в частности, с незнанием еще истинных причин происхождения целого ряда явлений в жизни реки, говоря короче, — нашим незнанием механизма речного русла. Приходится руководствоваться результатами опыта на примерах уже выполненных работ, осуществленных в очень сложных условиях быта потоков, перенося их в обстановку в большинстве случаев иных, но не менее сложных условий. Особенно это трудно нашим гидротехникам, которым приходится оперировать с примерами работ по преимуществу на заграничных реках, условия быта которых заметно отличаются от быта наших рек.

Только в последние годы, благодаря главным образом работам наших исследователей, начинают до некоторой степени выясняться пути исследования, которыми следует идти далее.

Поэтому неудивительно, что при выправлении рек приходится действовать иногда ощупью, не всегда находя сразу правильное решение. На реках крупного масштаба, с большими колебаниями расходов во времени, это, понятно, гораздо сложнее, чем на реках небольших, где бытовые явления намечаются проще и скорее и где воздействие сооружений на поток проявляется резче, быстрее и определенней. В связи с этим и недооценка или переоценка воздействия сооружений на малых реках проще и скорее исправляется.

Понятна поэтому и та осторожность, с которой подходят (и следует подходить) к выправлению больших рек. Однако здесь не следует впадать в крайность, потому что и чрезмерная осторожность в выправительных работах не всегда целесообразна и уместна.

Нельзя согласиться с целесообразностью постройки из ряда бун, т. е. из целой системы бун, действующих комплексно, одной или двух бун. Ясно, что такого рода опыт может привести к нежелательным результатам. Нельзя ограничиваться укреплением, например, вогнутого размываемого берега только на части его протяжения в надежде, что размыв берега остановится. А такие примеры мы и видим на днепровских работах.

Нельзя и растягивать постройки комплексно действующих

групп сооружений так, как это мы видели на выправлении переката Рудяки-Стайки, на котором выправление не очень уж крупное было растянуто на 14 лет (1897—1911 гг.).

С другой стороны, не следует, конечно, и слишком форсировать темп работ; проектируя выправительные работы, в особенности на крупных реках, связанных к тому же с крупными капиталовложениями, необходимо отчетливо уяснить себе действие на поток как отдельных сооружений, так и целых групп в отдельности и в комплексе с другими группами.

В наших советских условиях всегда имеется возможность одновременно с разработкой проекта подвергать его проверке лабораторным порядком и рядом дополнительных исследований в натуре, по мере выявления в этом надобности¹.

Только таким порядком следует, мы полагаем, вести проектирование выправления, а затем и постройку выправительных сооружений, прибегая в случае надобности и в процессе производства работ к лабораторной проработке тех или иных явлений, возникающих в русле.

Только таким путем можно избежать крупных ошибок при выправлении рек. Корректируя предварительные предположения по выправлению лабораторными исследованиями и в свою очередь проверяя и исправляя пути лабораторных исследований выясняемыми на практике результатами воздействия на поток выправительных сооружений, мы скорее поймем механизм речного потока и поставим выправление на правильный путь.

¹ В ближайшие годы будет построена крупная гидротехническая лаборатория в Ленинграде, что значительно облегчит лабораторные исследования быта рек.

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУДОХОДНЫХ РЕК

§ 30. Разделение русла на рукава

Принцип объединения потока при его выправлении в одно меженнее русло, как уже отмечалось, не может быть обязательным. Как по гидрологическим условиям, так и по условиям использования реки для целей транспорта, а нередко и в интересах прибрежных пунктов, часто приходится сохранять деление выправляемой реки на рукава.

Если река делится только на два рукава, то их суммарная ширина может быть больше и меньше, чем ширина реки перед ее разделением. Есть случаи и равенства суммарной ширины русел рукавов и коренного русла реки.

При разделении реки на три и большее число рукавов общая ширина последних при меженных условиях обыкновенно всегда бывает больше ширины коренного русла.

В частности, ширина отдельных рукавов при меженных уровнях, как правило, всегда меньше ширины коренного русла перед разделением на рукава, но иногда бывает, что один из рукавов сохраняет почти ту же ширину, что и коренное русло.

Рукава образуются или вследствие отложения в русле реки осередка, постепенно затем обращающегося в остров, или вследствие размыва высокими водами (по пониженным ложинам долины) нового протока в обход коренного русла.

Глубина в обоих рукавах при меженных уровнях бывает обыкновенно различна: в одном рукаве меньше, в другом больше, причем в последнем случае, если рукав является продолжением коренного неразделенного русла, она часто бывает не меньше глубины коренного русла. Иногда оба рукава имеют глубину меньшую, чем глубина неразделенного русла.

На рельеф русла каждого рукава большое влияние оказывает изменение расхода воды. Большой расход, направленный в рукав, вызывает, при прочих равных условиях, и более значительную разработку русла, а уменьшение расхода сопровождается обычно отложением в рукаве наносов и обмелением его.

В зависимости от направления течения высоких вод, — идут ли они в главной своей массе по направлению одного из рукавов, или захватывают оба рукава, или же пересекают направление рукавов, а также в зависимости от мощности и продолжи-

тельности высоких вод, — состояние рукавов меняется в большей или меньшей степени.

Все это, понятно, осложняет бытовые условия рукавов.

В более простых случаях при распределении меженного расхода поровну между рукавами и при состоянии их русел в соответствии с требованиями судоходства, достаточно, казалось бы, только поддерживать такое состояние.

Если русла обоих рукавов держатся вполне устойчиво и размыва их не наблюдается и если верхняя часть острова и нижняя хвостовая его часть сохраняют неизменным свое плановое очертание, надобности ни в берегоукрепительных, ни в русловых выправительных сооружениях нет. Если же, наоборот, намечается возможность размыва берегов или дна русла в рукавах, а также приверха и ухвостья острова, то во избежание нарушения и изменения, при увеличении размывов, существующего благоприятного положения необходимо принять меры к его закреплению. Берега, которые могут быть размыты, следует укрепить. Возможность излишнего углубления дна необходимо предупредить устройством донных запруд или полузапруд, а приверх и ухвостье острова, или, как говорят, верхнюю и нижнюю стрелки, закрепить соответствующими укреплениями в существующем положении.

Надо заметить, что примеров распределения меженного расхода поровну между двумя рукавами встречается очень мало. Это редкое исключение. Обыкновенно меженный расход между рукавами распределяется неравномерно. Если и в этом случае оба рукава по своим судоходным качествам являются в данный момент удовлетворительными, то надо только закрепить подобное положение, когда в этом будет необходимость. Способы укрепления применяются указанные выше.

Кроме закрепления положения рукавов, приверха и ухвостья острова, их разделяющего, в обоих случаях необходимо еще закрепить в неизменном положении часть неразделенного русла, примыкающего сверху по течению к рукавам и являющегося как бы подводным к ним каналом.

Приверх и ухвостье острова, разделяющего рукава, в обоих случаях целесообразнее закреплять, сохраняя существующие, при благоприятном в судоходном отношении состоянии рукавов, плановые их очертания при меженном уровне реки.

Если в одном рукаве надо увеличить глубину, то этого можно достигнуть либо землечерпанием, либо выправительными работами, со включением в них и землечерпания.

Приступая к выправлению, необходимо первоначально углубить рукав землечерпанием и закрепить сооружениями положение прорези, предварительно убедившись в правильном выборе ее направления.

В этих целях правильнее, назначив прорезь и сделав ее, выждать прохода ближайших высоких вод. Если прорезь в достаточной мере сохранится (правильнее — восстановится) после про-

хода высоких вод, то положение ее следует закрепить таким же порядком, как описано выше.

Если прорезь не сохранится или не даст желаемой глубины при первом ее сооружении, то необходимо будет увеличить приток воды в углубляемый рукав, что может быть достигнуто опять-таки землечерпанием или выправлением. В первом случае надо сделать достаточно широкую прорезь требующейся в рукаве глубины, расположив ее так, чтобы она могла привлечь („перехватить“) в углубляемый рукав течение в более значительном объеме, чем это было раньше. Если такая прорезь будет держаться и глубина в интересующем нас рукаве возрастет до требуемой величины, то этим можно и ограничиться. Если же прорезь не будет держаться или вообще не достигнет своей цели, то необходимо прибегнуть к выправлению. Главное значение для направления в этом случае известной части расхода в углубляемый рукав будет иметь струенаправляющая дамба, которую возводят (рис. 107, аб) от приверха острова вверх по течению или от берега.

Количество воды, которое должно быть в углубляемом рукаве для обеспечения желаемой глубины, определяется для ориентировочных соображений по гидравлическим формулам, а расположение дамбы в плане и ее длина должны обязательно быть проработаны лабораторным путем, что послужит основным коррективом к ее расположению в натуре.

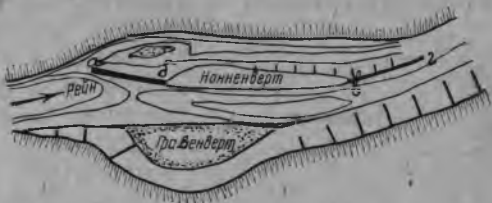


Рис. 107.

Не следует упускать из вида, что одновременно с увеличением глубины в одном из рукавов по последнему способу, т. е. направлением в него большего, чем это было ранее, расхода, второй рукав будет обмелевать. Для сохранения в нем прежней глубины придется обратиться к выправлению уже с уменьшением его ширины, в соответствии с новым уменьшенным меженным расходом. Плановые размеры новой трассы должны быть предварительно определены гидравлическими расчетами, что выяснит примерные границы возможного выправления. При перераспределении расходов воды в рукавах необходимо регулировать и их слияние вновь в единое русло. Здесь будут при неравенстве расходов сталкиваться два потока неравной силы и различного направления. В большинстве случаев это сопровождается образованием мелей, удлиняющих остров, и отклонением течения в коренном неразделенном русле к одному из берегов. Чем больше угол схождения потоков из рукавов, тем энергичнее происходят указанные нежелательные явления.

Для их смягчения, а по возможности и полного устранения необходимо устроить слияние потоков под более острым углом.

Достигается это устройством стрелки треугольной формы в плане, прочно прилегающей к ухвосту острова (рис. 108 и 107, *вз*). Длину стрелки можно определить по путям поплавков, при помощи которых следует установить направление поверхностных течений при слиянии рукавов. Конечной точкой стрелки будет пункт, где течение в неразделенном рукаве принимает уже правильное направление, примерно параллельное берегам. В продольном профиле стрелка делается с уклоном: гребень ее головы располагается в уровне расчетного горизонта, а корневая часть поднимается до гребня ухвостья острова, но обычно не выше 2—3 м над расчетным уровнем воды. Головному откосу в продольном направлении следует давать уклон не круче 1:5.

Практика показывает, что чем больше расходы воды в реке, чем она многоводнее и чем слабее по составу грунтов ее берега, тем труднее разрешаются вопросы выправления при разделении такой реки на рукава, в особенности, если рукавов больше двух.

Сохранение судоходными двух рукавов на таких реках, как Волга, Днепр и т. п., требует нередко весьма капитальных затрат, выражающихся в миллионах, а иногда и в десятках миллионов рублей, почему к разрешению подобных вопросов и следует подходить очень осторожно с обязательной проработкой проектных предположений лабораторным путем, при различных условиях и в различных вариантах.



Рис. 108.

В тех случаях, когда река делится островами и мелями на ряд мелких и крупных рукавов, часть их, а иногда и все приходится закрывать, т. е. заграждать запрудами.

Как уже упоминалось выше, представляется более целесообразным заграждающие сооружения располагать в нижней части рукавов и возводить их, возвышая постепенно в течение двух-трех лет. Чтобы ускорить занесение наносами заграждаемого рукава, можно в средней его части дополнительно устроить или деревянные заграждения или просто положить тюфячную ленту, ширина которой должна быть сообразована с расходом воды в рукаве в межень. Практически для заграждения рукавов крупных рек тюфячных лент шириной менее 5 м применять не следует.

§ 31. Выправление подходов к населенным пунктам и затонам

Нередко транзитный судовой ход по реке располагается у берега, противоположного населенному пункту, который, понятно, заинтересован в непосредственном примыкании к нему судового хода. В наиболее простом случае населенный пункт может отделяться от судового хода прибрежной мелью, в более сложном — группой островов и осередковых мелей, с затухающими между ними протоками.

Как среднее положение можно принять расположение населенного пункта на несудоходном рукаве.

Во всех этих случаях вынос пристанских устройств на значительное расстояние от населенного пункта к судовому ходу вызывает иногда весьма крупные накладные расходы по устройству пристаней в русле и нередко бывает сопряжен с излишней перегрузкой грузов и усложнением их доставки.

Если населенный пункт отделяется от транзитного судового хода мелью, имеющей характер побочня, то не следует упускать из вида, что образование таких побочней носит периодический

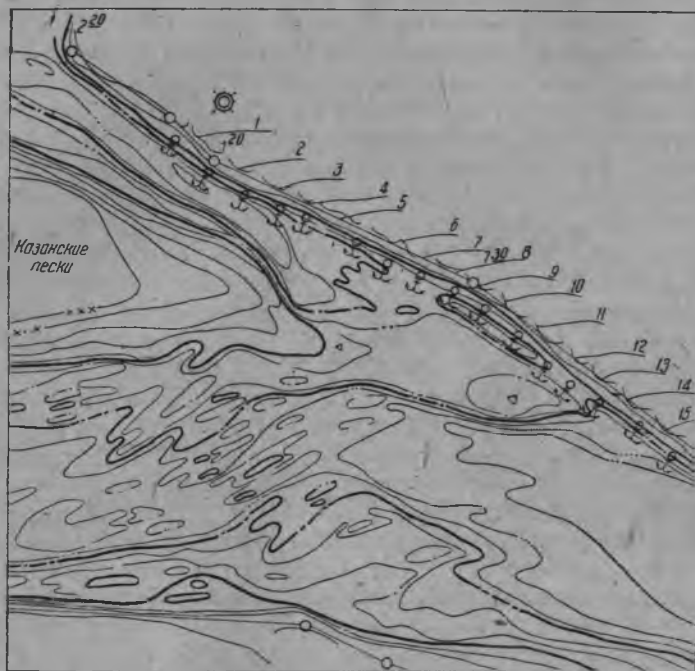


Рис. 109.

характер и присуще быту реки. Подобного рода побочни периодически размываются, исчезают и спустя некоторый период времени начинают образовываться снова, в соответствии с чем река то приближается к населенному пункту, то отходит от него. На реках, находящихся в естественном состоянии, такое положение наблюдается довольно часто и является результатом серпентирования русла, о чем мы говорили выше.

Вследствие этого коренным решением вопроса в данном случае является выправление русла. При помощи выправления необходимо закрепить русло реки в благоприятном для населенного пункта положении. Выправление должно иметь вместе с тем целью создание условий для образования таких внутрен-

них течений в потоке, при которых отложение мели у населенного пункта станет невозможным. При таких условиях выправление должно охватывать значительный участок реки, что обычно требует крупных капиталовложений.

Если такие капиталовложения для данного момента не отвечают тем выгодам, которые будут получены населенным пунктом и судоходством, то экономически целесообразнее применить иные способы, например, периодическое землечерпание с закреплением положения прорези сооружениями.

Так например, у г. Казани на Волге подход судов к пристаням периодически закрывается надвигающимися на пристани так называемыми Казанскими песками (рис. 109), образующими огромный побочень. И город и судоходство в такие периоды



Рис. 110.

терпят большой ущерб, не соответствующий однако тем затратам, которые пришлось бы понести государству при капитальном выправлении Волги у Казани. Поэтому здесь было применено землечерпание, давшее хорошие результаты.

Несколько иное положение у Саратова. В 17 км выше города (с. Пристанное) и около 13 км ниже (несколько выше дер. Березового Увека) долина реки значительно суживается, образуя как бы две горловины. Третья горловина образуется по линии Саратов—Энгельс почти по самой середине между первыми двумя, так что между Пристным и Березовым Увеком долина Волги в плане образует восьмерку (рис. 110 и 111).

По первому документальному плану 1845 г. (рис. 110) судовой ход шел по рукаву Старая Волга против с. Пристанного и затем по коренной Волге, причем рукав Тарханка был глубок, и суда подходили по нему к Саратову, проходя затем мимо

острова Рогатова в коренную Волгу. Ухвостье Беклемишева острова было покрыто лесом.

В 1848 г. (Н. А. Богуславский. Волга.) подход к Саратову обмелел, рукав у города был заложен песками.

В 1850 г. коса, тянувшаяся от Беклемишева острова, была размыта и на ее месте образовался глубокий ход от лугового покровского берега к саратовскому; значительная часть расхода направилась по городскому рукаву и городской берег стало размывать.

До 1858 г. коренное русло держалось у саратовского берега, но в 1858 г. здесь начали отлагаться мели, постепенно разраставшиеся и стеснявшие подход судов к Саратову и проход их по городскому рукаву. В 1870 г. транзитный ход судов расположился уже вдоль левого покровского берега, а к Саратову можно было подходить сверху по течению лишь в весеннее половодье, в остальное же время навигации сквозного хода вдоль города не было. К верхней части города можно было с трудом подходить через Покровский проран с мелким Покровским перекатом, а к нижней части города надо было идти в обход Ильинского острова и заходить в городской рукав с нижней его стороны. Но и нижняя часть рукава стала мелеть и при входе в нее снизу по течению образовался очень тяжелый Ильинский перекат. Коренное русло перешло опять к левому берегу, который начал размываться настолько энергично, что в 1882 г. уже высказывалось опасение о возможности его скорого прорыва и уходе Волги в проток Сазан (рис. 111).

В 1885 г. была сделана попытка дать подход к Саратову по ранее бывшему протоку между Беклемишевым островом и лежащими ниже его песками, так называемым Староречьем (рис. 112). Для этого была устроена опытная струенаправляющая дамба (Покровская плотина, рис. 111) из затопленных мелких судов со стороны покровского берега по направлению к Староречью и такая же дамба была выстроена в русле Волги выше истока речки Каюковки. Эта дамба имела целью не позволить Волге отклоняться влево. Кроме того, ход по Староречью разрабатывался землечерпанием.

К 1886 г. Каюковская дамба исчезла (она, видимо, была подмыта и унесена течением), а за Покровской отложило пески.

Отложение песков привело к мысли о постройке постоянной Покровской дамбы в целях вызвать более усиленные наносные отложения и тем отклонить Волгу к Саратову. В августе 1886 г. дамбу (из тюфячной кладки) начали строить и к началу навигации 1887 г. она была готова. Длина ее была 2592 м. Располагалась она от левого берега, частью по пескам, частью в русле по направлению, параллельному очертанию Беклемишевского острова и ниже его на 745 м. По направлению дамбы, для лучшего отклонения течения, в Староречье затопили суда общей длиной 320 м, так что вся длина дамбы оказалась 2912 м (рис. 111). На рисунке она названа плотиной; так раньше называли дамбы.

После прохода высоких вод 1888 г. в многих местах с нижней стороны судовой дамбы оказались подмывы, так что местами суда накренились по течению.

В 1889 г. по продолжению дамбы (ее намеревались удлинить) был проложен донный туюфак на длину 937 г., шириной 23,5 м,

и отремонтированы подмытые части дамбы. Надо отметить, что часть дамбы из судов была совершенно занесена песком, покрывшим суда слоем от 1 до 2 м. Пески около дамбы были закреплены посевом ивняка и разными длиннокорневыми травами.

Однако, несмотря на хорошие результаты по отложению песков, подход к Саратову не улучшался, и городские пристани после спада высоких вод приходилось переводить на правый берег ниже городского рукава к дер. Князевке в 7,5 км ниже Саратова. В 1890 г. пристани пришлось перевести уже на коренную Волгу за пески в 2 км от города, так как к последнему не могли подходить даже мелкие перевозные пароходы.

В 1891—1892 гг., чтобы направить Волгу к Саратову, построили основание и часть Ильинской полузапруды от левого берега у Ильинского острова (рис. 111). В 1892 г., когда буна эта еще достраивалась, начата была постройка вто-



Рис. 111.

рой буны также от левого берега, но выше первой буны. В то же время была построена на левом берегу незатопляемая железнодорожная линия (дамба) от Покровска (Энгельса) к берегу Волги, которая пересекала и закрыла проток Сазан, и, кроме того, дамба в том же протоке, явившаяся продолжением Покровской дамбы.

Ввиду неуспешности предпринимавшихся работ в 1893 г. был составлен проект выправления Волги у Саратова, по которому намечалось:

1. Прорыть землечерпанием канал через наиболее суженную часть песков, отделяющих Саратов от коренной Волги для направления течения Волги в нижнюю часть городского рукава.

2. В этих целях построить у левого покровского берега буну с примыкающей к ней струенаправляющей дамбой.

3. Обратить Ильинскую буну в запруду коренного русла для сосредоточения всего течения Волги в одном рукаве.

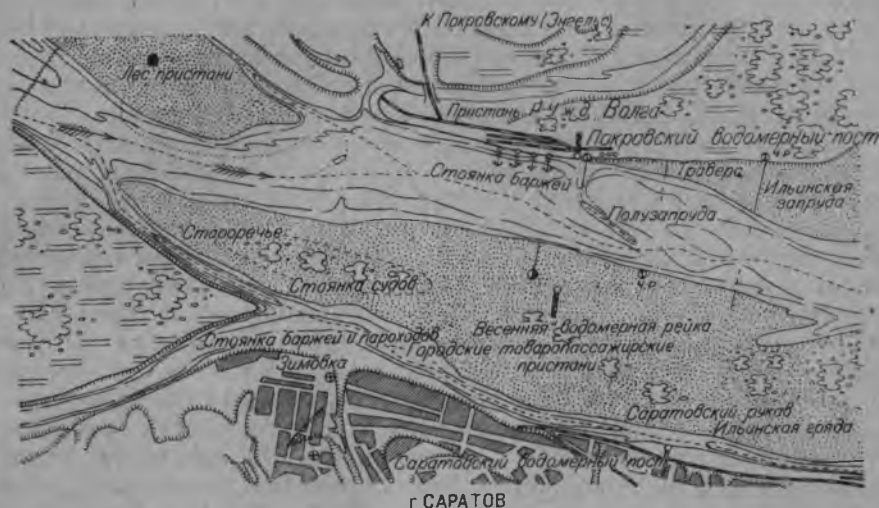


Рис. 112.

В 1898 г. проект был осуществлен. Канал, шириною от 32 до 53 м и длиною 1606 м, был промыт и энергично размывался течением.

Была построена с доведением до проектной высоты буну № 2 длиной 511 м со струенаправляющей частью длиной 1280 м. Буну (Ильинская), построенная ранее в 640 м ниже головы первой буны, обращена в запруду коренного русла Волги. Высота ее на протяжении первых 1898 м проектная (1,28 м над 0 местного водомерного поста), а на остальных — 50 м ниже нулевого уровня на 1,70 м. Понижение это сделано для прохода судов коренной Волгой ввиду неготовности городского рукава к пропуску всего судоходства.

В 1898 г. за Ильинской запрудой образовалась глубокая вымоина и размылся берег у корня запруды на правом берегу Ильинского острова.

Размытый берег был укреплен. К осени 1900 г. состояние Волги у Саратова было таково: через проран в городской рукав

направлялись лишь суда малой осадки, причем вход в проран постоянно обмелевал и требовал усиленной расчистки землечерпанием (рис. 112).

Транзитный судовый ход располагался по коренной Волге, причем суда, идущие вниз по течению, и плоты, во избежание навала на сооружения, проводились через пониженную часть Ильинской запруды при помощи двух сильных буксирных паровых ходов.

Левый берег у Покровска, ныне Энгельса, продолжал размыться. Течение в коренном русле ниже Ильинской запруды значительно отошло от левого берега, а ниже Ильинского острова река разделилась на два рукава, из которых судоходным был правый, соединявшийся ниже Ильинского переката с городским рукавом.

Таким образом сооружения, имевшие целью направить течение Волги в городской рукав, назначения своего не выполнили.

При последующих обсуждениях вопроса о направлении Волги к Саратову решено было оставить транзитный ход по коренной Волге, разобрать те сооружения, или части их, которые могут оказаться препятствием для образования транзитного русла; необходимую же для судоходства глубину поддерживать землечерпанием, учитывая, что потребности Саратова наилучшим образом будут удовлетворены образованием сквозного хода по Староречью. Меры, принимаемые для обеспечения глубины Староречья, не должны были оказывать вредного влияния на состояние транзитного русла.

На основании принятого решения разобраны были (взрыванием) буны и Ильинская запруда в головных частях, а также струенаправляющая дамба, причем корневые их части были оставлены, как укрепляющие левый берег, Покровская же дамба была оставлена, как полезная для целей подхода к Саратову. Работы по разборке были закончены в конце февраля 1904 г.

Землечерпание в городском рукаве из года в год продолжали в довольно значительных объемах, так как, с одной стороны, надо было расширить и углубить рукав, с другой — ежегодно подчищать отлагавшиеся в нем мели.

В 1905 г. была частично взорвана Ильинская гряда, залежавшая в городском рукаве, и вычерпано около 550 тыс. м³ грунта. Всего с 1894 по 1905 гг. в городском рукаве было вычерпано около 5 млн. м³.

Ежегодно наносами заносился то вход в Староречье, то в городской рукав, то отлагались мели и там и тут и ежегодно производилось интенсивное черпание.

С 1906 по 1910 гг. в городском рукаве было вычерпано около 1750 тыс. м³.

В 1911 г. верхняя часть Староречья опять была сильно заложена наносами, городской канал обмелел. В 1912 г. Староречье и городской рукав были засорены отложениями наносов еще более значительно, чем в 1911 г. Тогда было вычерпано около 387 тыс. м³, а в 1912 г. — около 550 тыс. м³.

Благодаря землечерпательным работам в 1912 г. глубина входной части Староречья была более 1,40 м (от нулевого, низкого горизонта), а наименьшая ширина хода — около 50 м. После повторного землечерпания осенью глубина во входной части Староречья достигла 2,80 м, а на ширине хода в 60 м глубина была 2,10 м.

После спада высоких вод 1913 г. положение оказалось таким же неудовлетворительным, как и во все предшествующие годы. Староречье и верхняя часть городского рукава снова и местами довольно значительно обмелели; глубина здесь была не более 1,4 м. В нижней части рукава обмелел лишь расположенный на выходе из рукава Улешовский пережат, на котором глубина доходила до 0,70 м, но в общем эта часть рукава по сравнению с 1912 г. обмелела незначительно. Последнее можно рассматривать как результат закрытия протока, образовавшегося в городских песках. Ввиду этого в 1913 г. работы по дальнейшему закрытию этого протока (загрузкой продуктами черпания и рассадой ивняка) были усилены. Затем через Улешовскую мель была сделана прорезь вдоль городского берега с закрытием старого хода.

Землечерпательные работы 1913 г. дали следующее. Вход в Староречье расширился и имел глубину 2,10 м, причем на ширине в 200 м имелась глубина не менее 1,40 м. В городском рукаве, в верхней его части, глубина была не менее 1,40 м (от нулевого горизонта), далее глубина местами падала до 0,70 м, но в нижней части рукава она была значительно больше.

После спада высоких вод 1914 г. вход в Староречье хотя и расширился, но опять был занесен. Небольшим по объему черпанием в городском рукаве всю навигацию поддерживалась глубина не менее 1,80 м.

В 1915 г. положение было подобно 1914 г.

В последующие годы подход к Саратову поддерживался землечерпанием, причем состояние городского рукава то ухудшалось, то улучшалось, но в таких пределах, в которых необходимую глубину можно было поддерживать землечерпанием.

Таким образом с 1902 г. выправительные работы, как неоправдавшие своего назначения, были оставлены, и подход к Саратову поддерживался землечерпанием. Расход воды к 1912—1913 гг. в городском рукаве достиг, по сравнению с предшествующими годами, значительно большей величины. Вход в Староречье и городской рукав имел тенденцию к расширению. Городской берег размывался. В дальнейшем можно было ожидать как смыва приверха городских песков у Староречья, так и расширения городского рукава. И то и другое было благоприятно, так как давало путь Волге к городскому берегу.

Так создались (1912—1914 гг.) естественно благоприятные бытовые условия реки, при которых поддержание глубин на подходе к Саратову и по городскому рукаву при помощи землечерпания значительно облегчалось. Необходимо было такое

положение использовать тем более, что оно являлось временным, в дальнейшем процессе жизни реки должно было, естественно, измениться и, как позволяла предполагать создавшаяся бытовая обстановка этого участка Волги, измениться не в пользу Саратова. Возвращаясь к ранее бывшему положению, Волга должна была отклониться к левому берегу.

Рассматривая создавшееся положение, можно было предвидеть следующую схему дальнейшего переформирования русла.

Процесс нарастания и перемещения вниз по течению сложившихся ниже Покровской дамбы покровских песков, основной процесс, влияющий на переформирование русла Волги у Саратова, имел тенденцию распространяться параллельно левому берегу. Размыв верхней по течению части покровских песков с удлинением косы вниз по течению должен был открыть потоку свободный путь вдоль левого берега мимо Староречья и этим ослабить размыв Староречья и приверха городских песков. Поэтому являлось опасение, что расширение городского рукава и Староречья в создавшихся условиях будет идти настолько медленно, по сравнению с размывом и опусканием покровских песков, что Волга не получит направления в городскому берегу, а отклонится к левому берегу.

Вызывали известные опасения возможная разработка протока за покровскими песками и обращение его современем в рукав, который мог отвлечь значительный расход от коренной Волги.

Поэтому, чтобы закрепить существовавшие в 1912 г. благоприятные условия, в первую очередь представлялось необходимым закрепить от размыва пески ниже Покровской дамбы, чтобы улучшить положение по размыву Староречья и городского рукава и сохранить отклонение коренного русла Волги к Саратову. Одного укрепления покровских песков для этого было бы недостаточно, становилось очевидным, что размыву Староречья необходимо будет помочь и землечерпанием.

Укрепление покровских песков рассадой ивняка и хворостяными тюфяками было выполнено в период 1918—1926 гг. Движение песков и их размыв были задержаны и приостановлено отклонение течения в сторону г. Энгельса.

Ограничиться укреплением покровских песков было недостаточно, так как по выходе от Пристанного Волга, отклоняясь к левому берегу, начала энергично его размывать с образованием возле него глубин до 15 м. Размыв этого берега, известного под именем Каюковского яра, грозил вызвать сильное отклонение Волги влево, выше Покровской дамбы, что имело бы последствием отход Волги от Саратова. Естественным продолжением Каюковского яра служат покровские пески (рис. 112-а).

Свойственное природе реки постепенное перемещение центра размыва вогнутого берега вниз по течению грозило размывом покровских песков. Для предупреждения этого одновременно с укреплением Каюковского яра необходимо было укрепить и покровские пески. С 1928 по 1930 гг. эти укрепления были

выполнены: по Каюковскому яру хворостяными тюфяками шириной 50 м в подводной части и мостовой (в 0,40—0,46 м на слое щебня в 0,12—0,15 м или сена) в надводной, а покровские пески были укреплены шестнадцатью тюфячными лентами шириной каждая по 20 м при средней длине ленты в 350 м. Пески продолжали спускаться вниз по течению и в 1932 г. для укрепления их от размыва пришлось уложить еще 7 траверсов.

Наиболее слабым местом укрепления левого берега являлся Пономаревский проток, располагавшийся между Каюковским яром и покровскими песками. Совершенно закрывать этот проток нельзя было, так как весенними водами, поступающими через Пономаревский проток, поддерживался вход в гавань г. Энгельса. Поэтому, чтобы остановить развитие протока, в его верхней части было уложено в 1930 и 1931 гг. девять тюфячных лент шириной по 20 м с интервалами в 100 м. Для предохранения от подмыва выходявших к Волге концов лент и приверха покровских песков была уложена около устья Пономаревского протока продольная тюфячная лента шириной 20 м. Кроме того, у приверха песков уложен подводный тюфяк шириной в 10 м.

Нижнюю часть Каюковского яра, где глубина была первоначально 2 м, размывало с увеличением глубины до 15 м, что заставляло уложить здесь дополнительные тюфяки шириной в 30 м, а размыв берега по линии Пономаревского протока заставил усилить здесь подводное укрепление укладкой тюфяка длиной 270 м и шириной 25 м (рис. 112а).

По правому берегу требовал укрепления приверх Беклемишевского острова, ежегодно терявший по ширине до 100 м. Такой размыв не мог, конечно, не отозваться вредно на плановом положении русла. Одновременно происходило и разрастание этого острова вниз по течению с отклонением ухвостья к левому берегу, что также не могло не отзываться на нежелательном изменении планового положения русла во вред Саратову.

Поэтому в 1930/31 г. приверх Беклемишевского острова был укреплен со стороны рукава Старая Тарханка на 300 м, а со стороны коренного берега — на протяжении 900 м. Укрепление в надводной части было сделано хворостяными тюфяками до уровня реки +4,2 м, а выше, до уровня +8,0 м — хворостяным покрывалом с загрузкой его камнем слоем 20 см. Выше отметки +8,0 до гребня было уложено такое же покрывало, но с загрузкой слоем 15 см и через клетку. Подводная часть берегов укреплена тюфяками. В предупреждение дальнейшего размыва Беклемишевского острова берег его, ниже приверха, укреплен на протяжении 900 м девятью тюфячными лентами, средней длиной по 220 м.

Наблюдения над расходами Волги показали, что рукава ее — Старая и Новая Тарханка — из года в год отвлекают все больше и больше воды от коренного русла.

Во избежание обеднения последнего водой оба эти рукава заграждены запрудами. Запруда в Старой Тарханке смешанного

типа с земляным телом, покрытым каменной одеждой, трапециодального поперечного сечения с отметкой гребня 8,50 м, а корней — 9,0 м. По пойме Беклемишевского острова запруда Старой Тарханки продолжена в виде земляной дамбы с тюфячным покрытием сверху, переходящим к коренному руслу в одну из тюфячных лент на острове. Рукав Новая Тарханка загражден каменной дамбой (рис. 112а).

Закрепление левого берега, вызвав отклонение течения к Староречью, имело последствием размыв берега Зеленого острова, который пришлось укрепить на протяжении 1200 м хворостяными тюфяками, причем в подводной части тюфяк имеет ширину 50 м.

Построенные сооружения уже проявили свое действие на поток, которое выразилось в следующем. Русло находится еще в стадии переформирования. Глубины в Староречье увеличились до 5 м при низком уровне реки, что делает совершенно ненужным землечерпание. Длина Староречья сократилась по сравнению с 1924 г. с 2000 до 400 м, а ширина увеличилась со 100 до 200 м. В настоящее время (1936 г.) Староречье разработалось еще больше, коренное русло подошло к Саратову и расход воды в городском рукаве увеличился.

Работы далеко еще не закончены, так как они охватывают пока участок Волги выше Саратова. На этом участке руслу только условно обеспечено устойчивое состояние. Эта условность связана с тем, что часть Волги непосредственно ниже Староречья находится еще в первобытном состоянии, в состоянии блуждания. Так, массив покровских песков будет расти вниз по течению и спустится в ближайшие же годы непосредственно в район саратовского берега. Его придется укреплять. Берег Староречья будет размываться; береговое укрепление потребует развития и возможно усиления, так как размыв ложа реки происходит весьма энергично: имеются уже глубины порядка 17 м.

Могут потребовать укрепления еще неукрепленные части правого берега.

Разрушение укреплений этого берега вызовет весьма нежелательные результаты: уход Волги к левому берегу, т. е. уничтожение частично достигнутых благоприятных результатов.

Необходимо устранить в русле у правого берега высыпку из Глубучева оврага, так как она отклоняет течение весеннего потока от городского рукава.

Развитие и усиление береговых укреплений и повышение запруд в рукавах Волги — задача самых близких лет. Нельзя медлить и с приведением к устойчивому положению части Волги ниже Староречья, так как в районе ниже Саратова уже теперь намечается стремление реки уйти к левому берегу.

Выполненные сооружения пока еще не разрешают вопроса улучшения подхода Волги к Саратову, так как, если бы даже существующее положение и сохранилось, саратовская промышленность, располагающаяся в городском рукаве и ниже до Увека, все же осталась бы в стороне от коренной Волги.

Рассчитывать, что коренное русло Волги переместится в городской рукав, т. е. расположится вдоль правого берега, оснований нет. Можно лишь рассчитывать, что после закрепления русла ниже Саратова по городскому рукаву будет обеспечен, после углубления этого рукава землечерпанием, особенно после углубления лежащей в верхней части рукава скалистой Ильинской гряды, свободный проход для судов.

Вместе с тем следует ожидать, что по транзитному руслу периодически придется прибегать к помощи землечерпания.

Основная причина неуспешного, а иногда и вредного действия строившихся здесь ранее бун и дамб — несоразмерность примененного выправления с масштабом реки. Волгу у Саратова с расходом высоких вод порядка 50—60 тыс. м³/сек, очевидно, нельзя было выправить тремя сооружениями, поставленными друг от друга в расстоянии около 950 м. Их уничтожало и само течение. В настоящее время остатки разобранных сооружений частью засыпаны песком, а в большей части уничтожены размывом и подмывом. Покровская дамба уже в 1902 г. была прорвана течением. Все эти сооружения не могли внести и, как показала практика, действительно не внесли никаких серьезных изменений в основные процессы формирования русла реки.

Мы остановились подробно на работах приведения р. Волги к Саратову с целью не только ознакомить с характером выправления судоходной реки при подходе к городам, но и показать, насколько сложно выправление больших рек вообще и в особенности, когда приходится иметь дело с разветвлением их на рукава.

На примере саратовских работ можно видеть, насколько важно, особенно в первые периоды производства выправительных работ, применение землечерпания и в каких размерах это применение выражается.

Вместе с тем применение землечерпания показывает, что далеко не всегда оно одно может разрешать успешно вопросы углубления русла рек.

Вообще надо заметить, что вопрос подведения судоходного пути по крупной реке к определенному пункту, когда река отходит от него в процессе естественного изменения своих бытовых условий, в большинстве случаев является сложной гидравлической проблемой.

Удачное разрешение этой проблемы требует предварительных подробных исследований и изучения быта реки и обычно бывает связано с крупными и порой сложными выправительными работами, охватывающими значительный участок реки и требующими поэтому крупных капиталовложений.

Разрешение задачи значительно осложняется, если подход к определенному пункту требуется располагать в одном русле с транзитным ходом для судоходства, иначе говоря, если транзитный судовый путь приходится удерживать в непосредственной близости к определенному пункту. В большинстве случаев

вопрос так и ставится: не дать отойти транзитному судовому ходу от определенного пункта.

В таких случаях прежде всего надо пытаться поддерживать подход к пункту при помощи землечерпания и, только убедившись в его бессилии и экономической невыгодности, переходить к выправительным работам.

Последние следует планировать с таким расчетом, чтобы первоначально осуществлять сооружения, которые могут наиболее помочь успешности землечерпания, и лишь при неуспешности подобного варианта приступать к развитию полной системы выправления.

§ 32. Выправление подмостовых участков рек

Мосты, под железную или обыкновенную дорогу, пересекающие судоходные реки, в зависимости от категории реки имеют по одному или по два судоходных пролета.

Располагают мосты в большинстве случаев перпендикулярно к направлению меженного течения. При таком положении моста угол, составляемый направлением течения в межень с перпендикуляром к продольной оси моста (или косина струй), должен быть (рис. 113) не более 11° . Такое расположение моста обеспечивает проход судов через судоходные мостовые пролеты без риска ударов и навалов под напором течения на мостовые опоры.

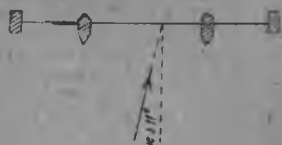


Рис. 113.

Если мост располагается косо к направлению течения, то угол между направлением течения и перпендикуляром к проекции продольной оси моста на вертикальную плоскость, перпендикулярную к направлению течения, не должен превышать также 11° .

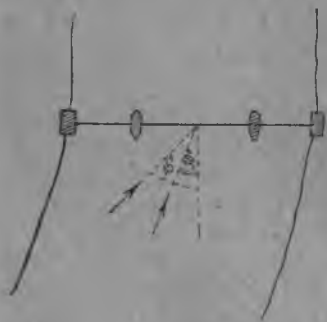


Рис. 114.

Русло меженных вод, как мы знаем, непостоянно и меняет не только свой рельеф, но и расположение в плане. Течение в связи с этим также меняет свое направление, и потому нередко приходится наблюдать, что спустя большой или меньший период времени после постройки моста течение располагается к его продольной оси (рис. 114) или к проекции ее на плоскость живого сечения под углом гораздо большим, чем 11° . При таких условиях проход

судов под мостом становится уже опасным, так как при движении по течению они могут быть нанесены на мостовые быки.

Во избежание такого положения одновременно с постройкой моста, если предвидится возможность увеличения косины струй, обычно принимают меры по выправлению подмостового участка

приходится выправлять только подход к мостовым пролетам
сверху по течению.

198



дится почти исключительно при помощи струенаправляющих дамб и сводится по существу к определенному местному стеснению меженного русла. Такое стеснение вносит нарушение в режим реки, притом нередко весьма заметное, так как в большинстве

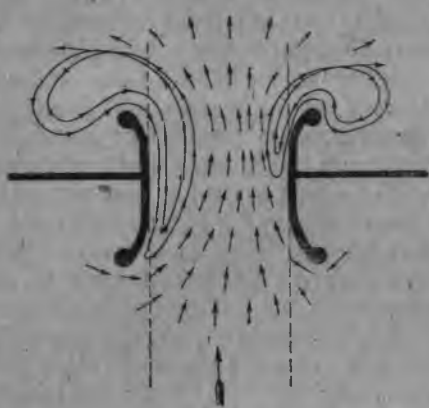


Рис. 116.

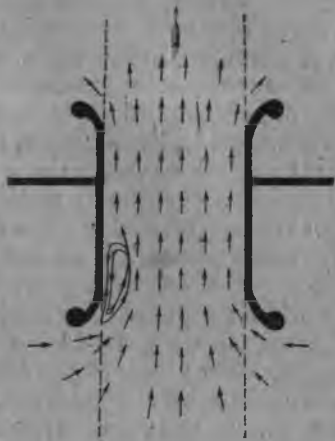


Рис. 117.

случаев ширина судоходных пролетов бывает значительно меньше ширины меженного русла.

Стеснение русла предмостовыми дамбами хотя и производится на сравнительно небольшой по длине части реки, все же отзывается на соседних выше- и ниже-лежащих участках меженного русла. Для уменьшения этого влияния, также нарушающего нормальный меженный режим реки, переход от нестесненных частей русла к стесняемому сечению должен происходить постепенно, что и следует учитывать при определении расположения и длины предмостовых дамб.

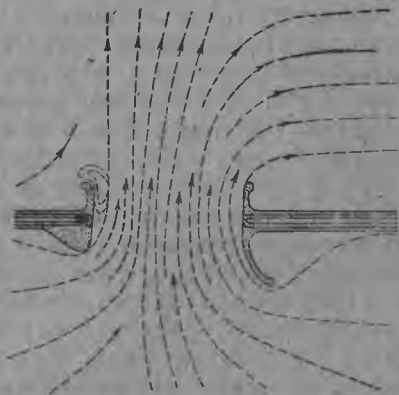


Рис. 118.

Вопрос правильности их расположения и длины осложняется еще тем, что течение изменяет свое направление не только в результате изменения рельефа дна, но и при колебаниях уровня, т. е. зависит также от степени наполнения меженного русла водой. Это заставляет относиться к разрешению вопроса выправления мостовых переходов весьма осторожно и, кроме подробных исследований бытовых условий реки на месте перехода, требовать проверки проектируемого расположения предмостовых дамб лабораторным путем.

На реках с большой амплитудой колебания уровней, а этим отличаются все наши крупные равнинные реки, очень часто направление течения высоких вод не совпадает с направлением меженного потока. Если подобное несовпадение существует на участке мостового перехода, то целесообразнее строить мост в соответствии с условиями течения высоких вод, а при меженных уровнях прибегнуть к постройке предмостовых дамб, как более легко осуществимой и требующей значительно меньших капиталовложений, чем выправление течения высоких вод.

Примеры расположения предмостовых дамб показаны на рис. 115—118; на рис. 117—118 показано расположение предмостовых дамб на индийских реках. И в том и в другом случаях мы видим несравненно большее развитие дамб в длину перед мостами по сравнению с частью их ниже мостов. Отсюда не следует делать вывода, что это общее правило. Участок реки ниже моста должен также внимательно исследоваться, как и выше его, потому что и здесь от сужения русла судоходными пролетами переход к несуженной части русла должен происходить с известной постепенностью. В противном случае, чему и бывали примеры, ниже моста, как раз против судоходного пролета, может отложиться мель.

§ 33. Выправление устьев притоков

Каждый приток усиливает питание реки, в которую он впадает, не только жидким, но и твердым расходом. Влияние притока на реку, выражается различно. Степень этого различия и характер происходящих при этом явлений в быте основной реки зависят главным образом от следующих причин: от относительной величины расхода воды притока, от относительного количества и качества приносимых ею наносов, от времени половодья в притоке и в основной реке и от характера берега основной реки в месте впадения притока.

Если расход основной реки значительно больше, чем притока, и если половодья притока и основной реки совпадают, то воды последней обычно и уносят вносимые притоком наносы, не давая им отложиться около устья притока.

Наносы притоков, имеющих почти всегда больший уклон, чем основная река, состоят из более крупных фракций, чем наносы основной реки. Так как половодье на притоках, особенно сравнительно не крупных, протекает быстро, часто в течение нескольких дней, то такие притоки выносят сразу много наносов. Если половодье притока совпадает с временем стояния в основной реке низких или меженных уровней, то вносимые ими наносы оседают около устья в значительных массах, и нередко, как это уже указывалось выше, вызывают отклонение течения основной реки и значительные размывы противоположного берега, способствуя иногда и образованию перекатов.

Если приток впадает со стороны вогнутого берега, русло

около которого всегда глубоко, а течение имеет сравнительно значительные скорости, то отложения мелей у устья обыкновенно не бывает, а если в редких случаях и бывает, то река успевает их безболезненно для судоходства размывать. Устья таких рек в большинстве случаев сохраняют постоянно устойчивое положение.

Наоборот, если приток впадает со стороны выпуклого берега — обычного места отложения наносов основной реки, то наносы притока увеличивают эту отмель (рис. 119). Иногда при этом создается род плотины, заграждающей приток, который тогда ищет себе другого выхода и меняет место впадения в основную реку.

Такого рода явление наблюдается и в случаях, когда половодье основной реки проходит во время стояния нормальных или низких уровней в притоке. В этом случае основная река засоряет устье притока своими наносами, откладывая их в виде



Рис. 119.

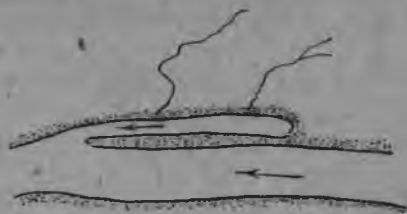


Рис. 120.

побочня около нижнего (считая по течению основной реки) берега устья притока. Если приток не успевает своими паводками промывать такие отложения, то нередко основная река так закрывает наносами его устье, что в нем начинается заболачивание (если приток мал) или же приток создает другое устье, выше или ниже по течению. Косы от таких мелей в устьях притоков при благоприятных условиях разрастаются и в русле основной реки, являясь иногда причиной образования перекатов. Во избежание этого устья таких притоков целесообразно ограждать высокой дамбой, как показано на рис. 120, за которой вырывается канал, принимающий один или несколько притоков, если они расположены близко один от другого. Канал должен быть такой длины, чтобы уровень высоких вод реки у входа в канал оказался ниже, чем в устьях притоков. Вследствие этого подпор реки не достигнет притоков. Конечно, подобное выправление целесообразно лишь в том случае, если надо устранить заболачивание устья притока, так как постройка дамбы и канала требует значительных затрат.

Подобного рода выправление притоков успешно применяется на верхнем Рейне.

Большое влияние на отложение наносов имеет угол примыкания притоков к основной реке. Влияние это сказывается

в ослаблении силы течения сливающихся масс воды притока и основной реки.

Впадая под прямым или почти под прямым углом (рис. 121), приток как бы врезывается в течение основной реки и вызывает в нем значительное нарушение внутренних течений, способствующее усиленному оседанию наносов. При впадении по касательной к течению основной реки приток создает значительное уширение ее поперечного сечения, в особенности если берега притока у устья низменны. Это также служит причиной усиленного отложения наносов. Поэтому наиболее благоприятным является впадение притока под острым углом от 20 до 25° .

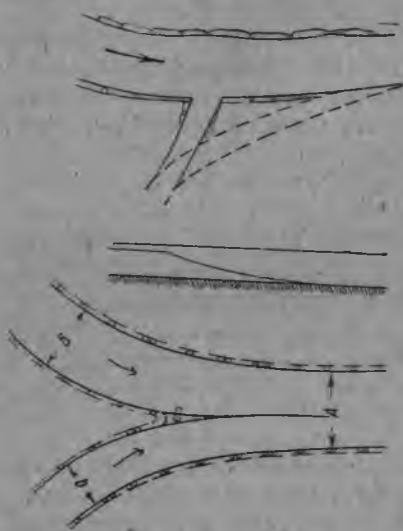


Рис. 121.

В условиях наших равнинных рек целесообразна и в гидравлическом отношении и в судоходном (если судоходен и приток) плавная под острым углом (примерно указанной выше величины) форма слияния притока с основной рекой. Такое соединение (рис. 121, сверху) способствует формам отложения наносов, менее нарушающим судоходные условия основной реки, и если приток судоходен, обеспечивая спокойный ход для судов, выходящих из притока и входящих в него.

Очертанию берегов в месте впадения притока следует придавать плавные формы, стрелка AB (рис. 121, низ) должна иметь в плане треугольную форму, постепенно — поднимаясь от своего начала A к берегу. Начало стрелки следует располагать в уровне расчетного выправительного горизонта, а корневую часть — в уровне с берегом. Откос со стороны основной реки должен совпадать по уклону с откосом прилегающего берега последней, а в головной части стрелки должен быть не круче $1:5$. Со стороны притока откос проектируется по конструктивным соображениям в зависимости от типа дамбы и материала постройки.

Выправление устьев притоков, содействуя более правильному отложению наносов в русле основной реки, не решает все же этого вопроса вполне радикально. Периодически входы в устья притоков приходится уширять и углублять землечерпанием.

§ 34. Выправление извилин с помощью прокопов (спрямление русла)

Реке, как указывалось выше, в естественном состоянии свойственно образование извилин. Эти извилины, развиваясь при

благоприятных грунтовых условиях в длину, нередко получают форму петель с кривизной весьма небольших радиусов (рис. 122). Подобного рода петли создают ряд крупных неудобств. Они затрудняют движение судов, а иногда делают его невозможным, так как судно не может в них вывернуться, сопровождаются нередко, вследствие уменьшения скоростей течения, таким усиленным отложением наносов, борьба с которыми как землечерпанием, так и выправлением становится бесцельной; по той же причине они могут замедлять сток паводковых вод и вызывать образование наводнений.

Если ширина реки не позволяет смягчить подобные извилины, увеличив их радиус, или если дальнейшее развитие извилины требует для приостановки ее весьма крупных берегоукрепительных работ, то целесообразно прибегнуть к спрямлению извилины посредством устройства нового русла, которое образуется соединением одной или нескольких извилины прокопами.

Прокоп, отвлекая почти всю воду от искривленного русла, обращает последнее в затухающий рукав, быстро заносимый наносами. Для ускорения обмеления старого русла его иногда заграждают запрудами.

Действие прокопа на соседние участки реки заключается в следующем. Излучина со своим замедленным течением, вызываемым чрезмерным развитием длины и снижением поэтому уклона, вызывает в своем начале A (рис. 122) некоторый подпор, соответствующий разности сопротивлений течению по прямой AB и по кривой ABB . В результате подпора уклон на верхнем участке реки AG уменьшается с i до i_1 . С устройством прокопа подпор исчезнет и поверхность воды понизится на какой-то длине линии GA . Если нельзя ожидать больших размывов как в прокопе, так и на примыкающем к нему сверху по течению участке AG , то можно принять, что влияние прокопа на выше-

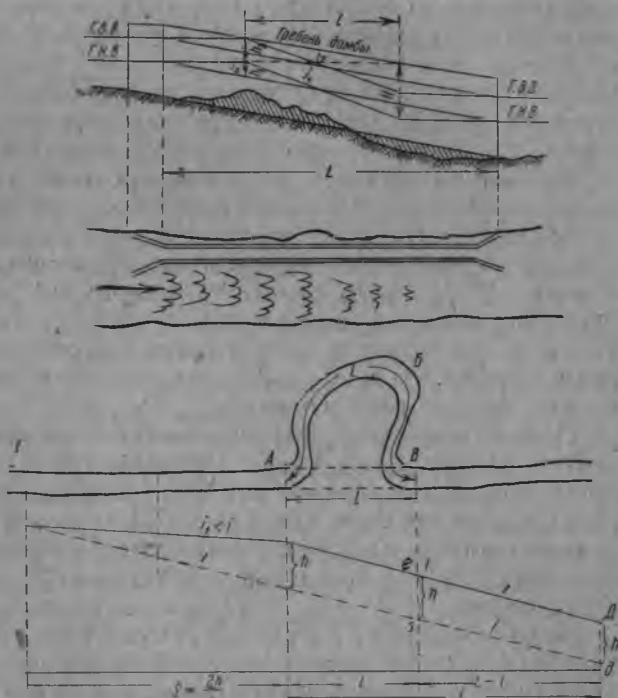


Рис. 122.

лежащий участок выражается в уничтожении добавочного сопротивления течению от петли по сравнению с прокопом, т. е. падения уровня воды $h = ez = Dd$, соответствующего сокращению длины выпрямляемого участка реки между A и B на величину $L - l$ (рис. 122). Иначе говоря, влияние прокопа можно уподобить примерно уничтожению плотины с подпором, если бы такая плотина стояла в A . Дальность распространения подпора от такой плотины была бы $S = 2h : i$. Однако все это было бы справедливо, если бы прокоп и прилежащие к нему участки реки располагались в неразмываемых грунтах. В большинстве случаев в прокопе и в соседних участках или совершенно не укрепляют берегов и дна или укрепляют в наиболее слабых (по составу грунтов) частях берегов. Поэтому при открытии прокопа как в нем, так выше и ниже его, в русле реки происходят размывы и отложения наносов и поверхностный уклон потока может резко отличаться от расчетного. В соответствии с этим и дальность распространения размыва будет совершенно иная. Поэтому для предварительных предположений о пределах размыва русла в реке лучше всего судить по уклону на естественном участке реки, на котором расход равен расходу воды в протоке, при условии, что верхние слои грунта в русле на примерном участке реки приблизительно такие же, как в прокопе и прилежащих к нему частях речного русла.

После прорытия прокопа обычно у нижнего его конца образуется размыв как в самом прокопе, так и в русле реки, и одновременно идет размыв самого прокопа, а затем начинается размыв в части реки непосредственно выше прокопа. Продукты размыва в прокопе и выше него (в русле реки) выносятся в ниже-лежащий участок и частью складываются на нем, частью уносятся далее.

Нередко уклон в прокопе получается значительнее, чем на участках выше и ниже его. В таких случаях на нижнем участке реки будет образовываться подпор и откладываться значительные мели, которые могут весьма серьезно ухудшить состояние судового хода.

Чем больше естественные уклоны спрямляемой реки, тем большего следует ожидать понижения уровня реки выше прокопа и образования больших подпоров ниже его.

Прокоп может быть построен или сразу на полный проектный профиль или же образование его может быть предоставлено размывающему действию реки. В последнем случае по линии прокопа устраивают большей или меньшей величины (в зависимости от состава и плотности грунта) канаву, по которой и направляют течение реки в целях дальнейшего размыва прокопа.

Такой способ устройства прокопа на судоходных реках можно применять только в случаях, когда: 1) отвод из реки части воды для размыва прокопа не отразится вредно на состоянии судового хода по спрямляемому участку, которым судоходство должно

пользоваться все время, пока прокол не будет готов для пропуска судов, 2) если выносы наносов при размыве прокопа не будут создавать в нижележащем участке реки затруднений для судоходства и 3) если для прокопа приходится размывать сравнительно неглубокую выемку (при глубокой выемке надо делать глубокую траншею — канаву, и размыв вследствие обвала высоких берегов может либо остановиться, либо принять совершенно неправильные формы и направление).

Наличие таких условий редко встречается в природе, почему устройство прокопов саморазмывом на судоходных реках обыкновенно не применяется.

При устройстве прокопов выемкой на полный профиль работы обыкновенно начинают с нижнего конца прокопа, чаще всего при помощи землечерпания, откладывая грунт по его сторонам в виде валов, но с таким расчетом, чтобы (если прокоп заливается высокими водами) половодьем эти валы не были смыты в прокоп. В верхней части прокопа оставляют часть берега в виде перемычки. По окончании выемки, если по грунтовому составу берегов надо их укреплять, под защитой перемычки выполняют на спокойной воде укрепления и затем, прокопав часть перемычки или, проще, взорвав ее, пускают течение.

Иногда часть выемки в прокопе, именно до грунтовых вод, делают всухую, также оставляя в верхней части прокопа перешеек-перемычку, а ниже уровня грунтовых вод вычерпывают грунт дноуглубительными снарядами. Дну прокопа дают проектный продольный уклон.

Старое русло, как указывалось выше, иногда закрывают запрудами, если хотят усилить направление течения в прокоп. Нередко вместо запруды строят в русле реки струенаправляющую дамбу, направляющую течение в прокоп. Закрывать коренное русло сразу не следует, целесообразнее дать ему отмирать постепенно, чтобы не направлять сразу же всех наносов в прокоп.

При устройстве прокопа саморазмывом приходится следить за прохождением саморазмыва по желаемой трассе. В тех случаях, когда размыв начинает идти в нежелательном направлении, необходимо принимать меры к правильному направлению течения. Делать это лучше всего в процессе самого размыва, применяя временные сооружения в роде кулевых бун или щитовых заграждений, которые в дальнейшем могут остаться или же могут быть удалены. Применение „автоматически“ действующих укреплений, например, расстановки штабелей камня по границам прокопа, которые при подмыве границ должны обвалиться и закрыть размываемый берег, или укладки тяжелых фашин в расчете, что они свалятся и закроют берег и т. п., рекомендовать нельзя, так как часто они сваливаются не туда, куда следует, и способствуют еще большему искривлению трассы прокопа.

Трасса прокопа согласуется с расположением трассы в реке. Прокоп должен плавно примыкать к верхнему участку реки,

составляя естественное его продолжение. Лучше всего делить прокоп по вогнутой трассе, так как такое расположение наиболее обеспечивает в нем поддержание глубин. Иногда одним спрямлением заменяют сразу несколько петель.

Нижнюю часть спрямляемой прокопом петли обычно заграждают запрудой, которая и образует часть берега прокопа. В верхнем участке обыкновенно устраивают струенаправляющую дамбу, сначала оставляя, как упоминалось выше, проход в старое русло. Затем этот проход по прошествии двух-трех лет закрывают. Нижний (по течению) конец дамбы рекомендуется несколько отклонять в сторону старого русла под защиту верхней части дамбы от размывов и ледохода.

§ 35. Выправление порогов

Пороги обыкновенно образуются на таких участках рек, где русло сложено из твердых пород грунтов, трудно поддающихся размыву. Это в большинстве случаев скалистые породы, пересекающие русло в виде гряд или отдельных групп камней. Образуя при меженных уровнях сплошные или с перерывами, частью подводные, а частью надводные, заграждения русла реки, пороги являются своего рода запрудами, вызывающими образование перед собой подпоров с крутым падением (сливом) и уменьшением глубин над самым порогом. Недостаточные глубины, масса препятствий в виде отдельных камней и целых их групп и большие скорости течения часто делают судоходство на порогах совершенно невозможным.

Устройство безопасного судового хода через пороги может быть достигнуто расчисткой по выправительной трассе всех подводных и надводных препятствий, углублением каменистого русла и уменьшением скоростей течения до пределов, допускающих плавание судов.

Как уже говорилось, пороги представляют обычно своего рода подводные запруды. Если удалить такой порог по всей ширине русла, то перепад над ним станет значительно меньше, скорости течения несколько уменьшатся, но на части русла выше порога уровень понизится и глубины там уменьшатся.

Уменьшение это может быть значительным и глубины окажутся недостаточными для судоходства, так что придется прибегать к углублению судового хода на большом его протяжении. Вместе с тем может оказаться, что уборка порога вызовет такое понижение уровня воды над ним, которое равно самому углублению, так что реального увеличения глубины не получится.

Иное положение будет, если углубление порога сделать не по всей ширине русла, а только по ширине судового хода. По отношению ко всему живому сечению русла подобное углубление дна будет незначительно и понижение уровня реки в пределах порога и на прилегающих к нему участках русла будет уже небольшое, такое, которое существенно на глубинах не отзовется.

Если оградить прорезь, сделанную в пороге, дамбами, то снижение уровня и по прорези и выше нее будет еще незначительнее. Подобного рода каналы прорывают длиннее (считая по течению) порогов, выводя их на более глубокие части русла. Дно прорези, сделанной в пороге, может быть выравнено с однообразным уклоном, так что сосредоточенное на пороге падение поверхности воды может быть распределено на значительную длину, т. е. смягчено.

Продольный уклон дна канала и его длина могут быть рассчитаны по законам неравномерного движения воды в открытых руслах, по поперечному профилю канала, по необходимой наименьшей глубине и наибольшей скорости течения. Ширина и глубина канала, как и



Рис. 123.

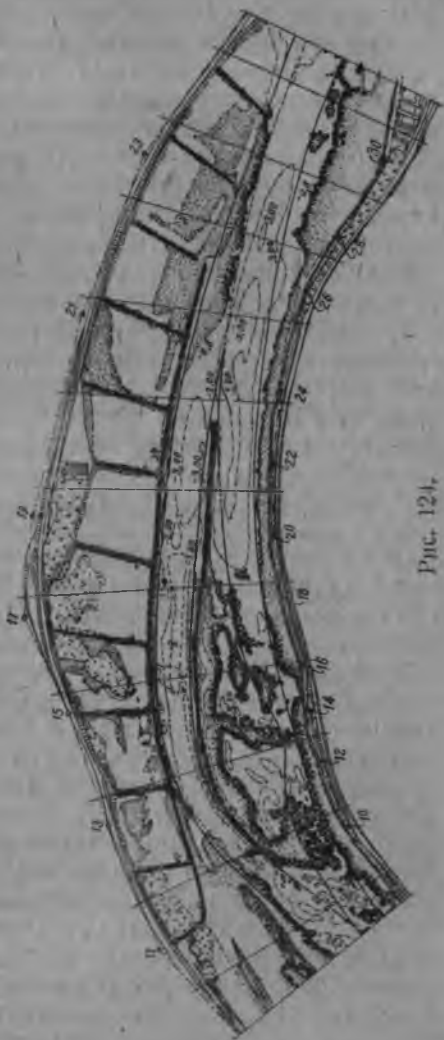
скорость течения должны быть согласованы с требованиями судоходства.

Если ограждающие канал дамбы будут выше уровня высоких вод, то и средний поверхностный уклон весенних вод в канале будет меньше, чем на пороге.

Каналы следует строить по всей длине на грунте, не поддающемся размыву (на таких условиях ведется и теоретический расчет их) и с нефилтрующими дамбами, во избежание образования стока воды из канала через дамбы на порог и обратно, так как уровень воды в канале и уровень воды в реке (рис. 123) будут на разных высотах.

Открытые каналы были у нас применены при выправлении Днепровских порогов, о чем мы упоминали выше. Теперь эти каналы уже не существуют: их перекрыло течение Днепра, подпертое плотиной Днепрогэса.

При благоприятных местных условиях падение на пороге



может быть значительно смягчено при помощи струенаправляющих дамб, распределяющих это падение на большую длину.

Так, например, было сделано при выправлении порога на среднем Рейне (рис. 124), где сначала на пороге был расчищен и углублен взрывными работами судовый ход глубиной 1,50 м.

Так как при выправлении порогов приходится по экономическим соображениям (в целях уменьшения дорогостоящих в скалистых грунтах работ) допускать предельные для судоходства скорости течения и ограничиваться минимальными размерами в плане судового хода, то судоходство терпит здесь известные неудобства. Если пороги имеют значительное падение, то часто бывает технически целесообразнее и экономически выгоднее объединить их выправление с использованием и гидравлической энергии, т. е. обратиться к шлюзованию с одной или несколькими высоконапорными плотинами. Подобное и, следует отметить, блестящее решение вопроса выправления порогов мы имеем на р. Днепре. Все Днепровские пороги перекрыты подпором плотины Днепрогэса и открывают глубокий судоходный путь от Верхнего Днепра к Нижнему посредством одного трехкамерного шлюза.

§ 36. Значение землечерпания при выправлении рек

Уже более 75 лет землечерпание является составной частью выправления рек. Применение его сначала в очень скромных размерах постепенно, по мере усовершенствования землечерпательных и землесосных снарядов и развития их мощности, развивалось все больше и больше.

Основная задача выправления судоходных рек, как уже указывалось выше, состоит в том, чтобы создать и поддерживать на затруднительных для судоходства участках реки такие условия, которые были бы возможно ближе к существующим на естественно хороших в судоходном отношении участках.

В точности воспроизвести такие условия судоходных участков мы, по состоянию наших знаний о быте реки, пока еще не можем, и степень близости нашего подхода к лучшему разрешению этой задачи определяется большей или меньшей сложностью гидравлических условий на выправляемом участке и правильною применением метода выправления.

Указанная степень близости и выражается практически в большем или меньшем постоянстве глубин, достигнутых выправлением, или в более или менее частом нарушении правильности расположения судового хода. И в том и другом случаях нарушение достигнутых выправлением результатов вызывается отложением мелей. Понятно, чем быстрее подобное нарушение интересов судоходства будет устранено, тем это для судоходства выгоднее. И вот здесь могучим помощником выправления является землечерпание, не только быстро углубляющее

обмелевшие места в русле, но и удаляющее за пределы трассы продукты черпания.

При неблагоприятных временных комбинациях колебаний уровня реки, которые невозможно предвидеть и на которые выправление и не может быть рассчитано, отложения наносов появляются периодически. Землечерпание при известном расположении и размерах прорези, может настолько изменить характер внутренних течений потока, что повторного отложения наносов уже не будет. Комбинированным воздействием на течение выправительных сооружений и умело примененным землечерпанием судоходный путь может поддерживаться в полном соответствии с требованиями судоходства.

Большую помощь оказывает землечерпание и в процессе самого производства выправления. Выправительные сооружения проявляют свое воздействие на поток сравнительно медленно, причем в период переработки русла судовой ход нередко представляет для судоходства серьезные неудобства.

Перемещение мелей в пределах выправительной трассы и ее углубление происходят в большинстве случаев не сразу в один период высоких вод, а продолжают и в межень, особенно во время паводков. Судовой ход в это время то пересыпается мелями, то принимает неблагоприятные плановые формы. Судоходство же ждать не может и вынуждено довольствоваться и меньшей глубиной и неудобно расположенным судовым ходом. Во избежание этого судовой ход в подобных случаях предварительно углубляют в пределах трассы до необходимой глубины, а затем уже строят выправительные сооружения, которые как бы закрепляют положение судового хода. Продукты черпания складывают на места будущих междубунных полей. Применяется землечерпание и в период постройки сооружений или для поддержания судового хода или же для расширения его до границ выправительной трассы. Благодаря этому самый тяжелый для состояния судового хода период выправления проходит без нарушения интересов судоходства.

При помощи землечерпания можно и удешевить постройку выправительных сооружений, поднимая насыпями из продуктов черпания их основания, заваливая заграждаемые рукава, заполняя грунтом ядро тела сооружений и т. д.

Ввиду той огромной помощи, которую оказывает землечерпание выправительным работам, естественно, возникает вопрос, нельзя ли выправление вообще заменить землечерпанием.

Практика землечерпания показывает, что, как общее правило, углубление судового хода землечерпанием в огромном большинстве случаев удерживается не более одной навигации, а обычно даже меньший период времени, так что большую часть прорезей на перекатах приходится возобновлять в ту же навигацию. В силу этого подавляющее большинство гидротехников как у нас, так и за границей считают землечерпание не

капитальной мерой улучшения судоходных условий рек, а лишь вспомогательной или ремонтной.

Однако это не исключает возможности, при благоприятных гидрологических условиях, капитального улучшения судоходных условий в отдельных пунктах реки и одним только землечерпанием.

Бывали примеры, правда, редкие, когда при намечавшемся выправлении переката для установления правильного направ-



Рис. 125.

ления трассы делали на перекате землечерпанием прорезь необходимой для судоходства глубины и ширины. Прорезь эта удерживалась в течение всей навигации, на следующую — требовала лишь незначительной ремонтной подчистки, а затем перекат в течение нескольких лет был глубок, причем судовый ход все время располагался в межень по направлению прорези. Очевидно на перекате, благодаря воздействию прорези, из года в год образовывались благоприятные внутренние течения, поддерживающие необходимую для судоходства глубину.

Прекрасным примером подобного же рода работ является улучшение подхода к меженным пристаням г. Казани на Волге.

Река Волга выше Казани делится на два рукава, из которых по правому, значительно более глубокому, располагался транзитный судовой ход, а на левом, более мелком, размещались меженные пристани г. Казани. Для обеспечения подхода к этим пристаням приходилось каждый год в левом рукаве производить очень крупные землечерпательные работы. Ежегодно объем землечерпательных работ увеличивался, а подход к пристаням ухудшался (рис. 125).

В 1915 г. было замечено естественное улучшение судоходных качеств левого рукава, так что углубление его, сделанное

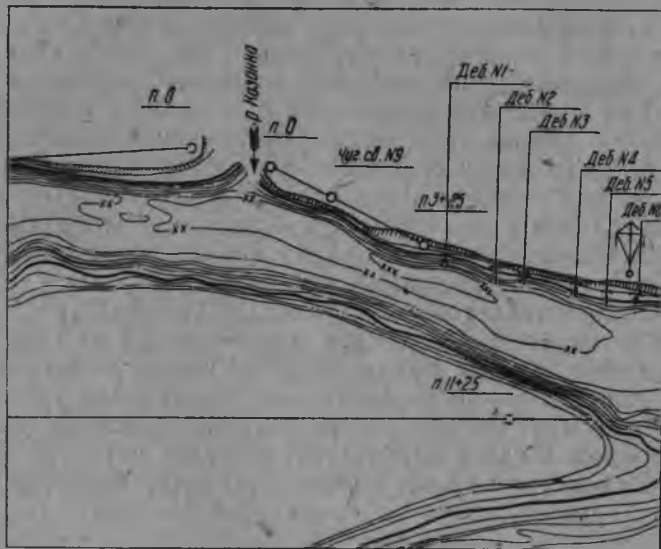


Рис. 126.

в нижней части в предшествующий год, не заносилось наносами. Весной 1916 г. в левом рукаве были начаты усиленные землечерпательные работы (работали три мощных снаряда, которые сделали 2450 пог. м прорезей), продолжавшиеся осенью и затем в 1918 г. По плану, снятому после 1917 г. (рис. 126), видно, что ширина левого рукава значительно увеличилась и на всем протяжении, кроме нижней части, рукав был вполне глубок. Нижняя часть рукава обмелевала. В последующие годы и до настоящего времени подход к пристаням держится хорошо, иногда лишь требуя углубления в нижней части рукава.

Подобных примеров однако немного и потому основывать на них обобщающее заключение о возможности, как правило, капитального улучшения перекаатов землечерпанием нельзя. Но независимо от этого землечерпание является весьма важным

и самостоятельным способом улучшения и поддержания судоходных условий рек.

Не на всякой судоходной реке, допускающей способы капитального улучшения ее судоходных качеств (выправлением, шлюзованием, дополнительным питанием), применение этих способов может быть экономически выгодным. Если способы капитального улучшения требуют таких капиталовложений, которые не отвечают размерам судоходства и грузооборота, то необходимо обращаться к другим мерам, более рентабельным, которыми можно улучшить хотя бы временно условия судоходства.

На равнинных реках, протекающих по преимуществу в не твердых грунтах, главным препятствием для судоходства обычно является недостаточность глубин при меженных уровнях на большем или меньшем числе перекатов. Опыт показал, что в подобных условиях, т. е. при нерентабельности применения других способов, землечерпание является наиболее активным и пока единственным средством улучшения судоходных условий.

При целесообразно продуманной организации землечерпательной службы небольшим сравнительно числом дноуглубительных снарядов можно поддерживать транзитную глубину на участках реки значительной длины. Путем заблаговременного углубления наиболее мелких перекатов, с применением нередко и повторного углубления в ту же навигацию, в течение всего навигационного периода поддерживается необходимая судоходству глубина. Такие землечерпательные работы производятся из года в год.

На наиболее важных путях землечерпанием поддерживается в межень заранее установленная так называемая гарантийная глубина, ниже которой она ни на одном перекате не падает.

Применяемое в таких целях землечерпание является крупным ремонтным средством по улучшению и поддержанию судоходных качеств и получает уже самостоятельное значение.

§ 37. Выправление русла высоких вод. Обвалование от затоплений

В периоды половодий судовой ход всегда имеет необходимую и даже излишнюю для судоходства глубину, бывает достаточно широк и хорошо расположен в плане. Не представляет он препятствий и по скоростям течения. Даже наоборот, в высокие воды почти всегда можно иметь два судовых хода: один с повышенными скоростями течения для движения судов по течению, а другой с пониженными скоростями — для движения против течения. Эти выгодные для судоходства на наших равнинных реках свойства русла высоких вод делали и делают ненужным в интересах судоходства выправление рек при высоких водах.

Исключением являются суженные части долины рек, особенно если в них располагаются пороги. Последнее неудобство, как мы видели, может быть устранено устройством через пороги

открытых каналов, огражденных незатопляемыми дамбами. Что касается сильно суженных частей долины, то они встречаются в виде исключения, занимают небольшие по длине участки и движение на них может совершаться при помощи дополнительной тяги.

Кроме того, устранить неудобство узких участков всегда можно уширением русла высоких вод.

Гораздо большие неудобства разливы половодий представляют для эксплуатации портов и пристанских пунктов, заливая их территории и нарушая правильный ход эксплуатации, не говоря уже о том ущербе, который наносится подобными затоплениями таким портовым устройствам, как береговая территория с дорогами на ней, канализация зданий постоянного характера и т. п.

Огромный вред приносят разливы высоких вод населенным пунктам, затопляя их и создавая зачастую катастрофы. Одной из основных мер борьбы с такими наводнениями является обвалование рек, т. е. защита населенных пунктов и прибрежных земель незатопляемыми валами, ограждающими реку и не позволяющими ее водам разливаться далее известных границ. Постройку ограждающих от наводнения валов всегда необходимо соотносить и с интересами судоходства. Обращаясь к выправлению русла высоких вод — вод половодья, рассмотрим сначала случаи обращения затопляемых территорий портов и пристаней, а также городских прибрежий в незатопляемые.

Если затопляемые территории располагаются на откосах коренных ведущих берегов, что чаще всего и бывает, в виде берм и площадок, обыкновенно ограниченной ширины, то обращение их в незатопляемые является по существу повышением берега, с укреплением его обделкой откосной или вертикальной набережной стенкой. Сколько-нибудь существенных изменений в смысле стеснения весеннего потока подобное переформирование берега внести не может, но оно может повлиять на изменение направления течения высоких вод, вызвав его отклонение от нижележащей части берега. Это следует учитывать и давать соответственное расположение в плане повышаемой береговой линии.

Если затопляемая портовая или пристанская территория расположена на низменном берегу долины разлива или на междуречье, т. е. на затопляемой почти всегда территории слияния двух рек, на „стрелке“, то при обращении ее в незатопляемую она будет при половодье представлять остров (рис. 127). Такая островная территория может оставаться изолированной, либо неизолированной от ближайшей незатопляемой портовой территории или населенного пункта. С первым



Рис. 127.

положением приходится встречаться обычно при расположении территории на низменном берегу речной долины или на острове, причем в этом случае остров может оставаться изолированным и при меженных уровнях и сухопутных сообщений с берегом не иметь.

Если созданная возвышением незатопляемая островная территория нуждается в сухопутном сообщении с прилежащим населенным пунктом или с остальной портовой территорией, то такое сообщение осуществляется при посредстве незатопляемой дамбы, которая явится уже русловым сооружением для русла высоких вод. Дамба эта в том или ином направлении будет пересекать долину разлива и соответственно влиять на половодный поток.

Затопляемая территория на междуречье всегда имеет в межень сухопутное сообщение с прилежащей к ней незатопляемой территорией порта или населенного пункта.

При образовании островной незатопляемой территории на междуречье, последнее следует выправить как стрелку, обделав соответствующим образом берег со стороны каждой реки незатопляемыми набережными стенками (откосными или вертикальными) или валами. Тип обделки берега избирается, понятно, в соответствии с требованиями портовой работы. Подобные береговые обделки могут служить как причальные линии с расположением на них дорог для сообщения с ближайшей незатопляемой территорией и для обслуживания портовой работы.

Береговые обделки (или валы) должны являться продолжением вышележащих незатопляемых берегов и очерчиваться в плане по вогнутым кривым большого радиуса или, в крайнем случае, по прямым. Форма самой стрелки, во избежание вредного ее влияния на меженный поток, должна быть выработана при участии лабораторных исследований. Во всяком случае, являясь продолжением незатопляемых берегов и образуя также стрелку слияния при меженных уровнях, стрелка высоких вод должна иметь такое оформление, которое устраняло бы отложение около нее мелей. Выдвижение стрелки вниз по течению не должно вызывать излишнего стеснения весеннего потока, что может случиться, если противоположный берег незатопляем. Необходимая в этих случаях ширина весеннего потока должна быть рассчитана гидравлически и проверена лабораторными исследованиями.

При образовании незатопляемой портовой территории на низменном берегу поймы территория эта образует при высоких уровнях остров. Сообщение его с ближайшим населенным пунктом или вообще с соседней незатопляемой территорией придется устраивать по незатопляемой дамбе, которая, как бы она ни была расположена по отношению к направлению течения высоких вод, будет иметь значение запруды между незатопляемым островом и незатопляемым берегом. Она будет стеснять живое сечение русла половодного потока. Степень этого

стеснения должна быть выяснена гидравлическим расчетом для решения вопроса о типе дамбы, т. е. делать ли ее эстакадной, для пропуска части высоких вод, или же сплошной. Вместе с тем, и это не менее важно, необходимо учесть характер влияния дамбы на известное отклонение течения высоких вод в сторону коренного русла и выяснить, как это может повлиять на образование внутренних течений у вновь образованного острова. Не следует упускать из виду, что при меженных уровнях около „острова“ (а в межень это будет береговая линия меженного русла) должна сохраняться глубина для свободного подхода и причала судов. Выяснить этот вопрос следует и лабораторным путем.

Располагать подобную дамбу предпочтительнее вровень с поднятой территорией, чтобы иметь возможность, в случае необходимости, использовать ее для устройства за ней безопасного при ледоходах зимовочного пункта. Ближайшую к „острову“ часть дамбы надо делать сплошной.

Что касается планового оформления самой возвышаемой территории, получающей вид удлиненного острова, то и здесь надо гидравлическим расчетом проверить степень возможного стеснения русла высоких вод, которое едва ли будет существенно при сквозной дамбе. Если это стеснение окажется сравнительно значительным, то можно будет принять меры по углублению коренного русла.

Если меженный судовой ход располагается вдоль низменного берега поймы, который повышается на известную ширину, т. е. тоже будет „островом“, и идет ниже повышаемой его части, то при оформлении плановых очертаний последней это необходимо учесть, рассматривая повышаемую часть берега в русле высоких вод как остров. Чтобы не вызывать ниже этого высоководного острова нежелательного отложения мелей, следует строить нижнюю стрелку в виде постепенно понижающегося вала.

То же самое надо сказать, если повышается до незатопляемости остров. Он разделит весенний поток на два рукава. В зависимости от его величины стеснение высоководного русла может быть либо несущественным, либо таким, с которым придется считаться. В последнем случае необходимо будет принять меры к увеличению живых сечений коренного русла или путем расчистки противолежащих мелей (если они будут) или посредством углубления высоководного русла (землечерпанием). Если остров в межень отделяется от пойменного берега умирающим рукавом, то можно ограничиться приданием острову сравнительно хорошо обтекаемой формы, если же рукав деятельный, то при высоких уровнях остров должен иметь и верхнюю и нижнюю стрелки.

Если весенний поток начинает в долине разлива прорабатывать себе новый путь в нежелательном для судоходства направлении, например, по затлохшему рукаву в сторону от портового или пристанского пункта или в обход их, то необходимо такой

рукав заградить. В зависимости от степени и интенсивности размыва рукава заграждение его может быть выполнено различно.

Когда размыв только начинается и высокие воды направляются по новому пути не особенно интенсивно (это можно определить поверхностными и глубинными поплавками), то можно ограничиться укреплением дна рукава тюфячными лентами, уложив их в конце рукава.

Когда размыв имеет уже более серьезный характер, то необходимо солидно заградить вход в рукав достаточно мощной дамбой, расположив ее по линии берега, т. е. восстановив при ее помощи береговую линию. Сооружение это должно быть достаточно прочно и ограждено от возможности подмыва.

Подобного рода заграждения можно делать насухо, во время низких навигационных уровней. Можно их делать из земли с покрытием ее хворостяными тюфяками. При таком типе дамб может быть использовано и землечерпание.

Обращаясь теперь к мерам борьбы с разливами во время половодий, надо отметить, что разливы не всегда приносят вред, но бывают и полезны. При определенных почвенных и климатических условиях они увлажняют заливаемую долину реки, создавая благоприятные условия для растительности (поемные луга), или же снабжают ее плодородными осадками (ил Нила). Это — полезные разливы.

Есть также разливы нормальные, повторяющиеся из года в год, к которым приспособились прибрежные условия жизни и которые большого вреда не приносят, если сток их не задерживается сверх обычного. Это — нормальные весенние разливы наших рек.

Если нормальные разливы заболачивают местность или если они начинают достигать значительной высоты, при которой затопляются целые города, ранее таким затоплениям не подвергавшиеся, приходится принимать соответствующие меры для сохранения жизни и имущества людей и ценных земельных угодий. Такие разливы называются наводнениями. Особо вредные последствия имеют внезапно возникающие наводнения.

Непосредственной причиной речных наводнений является необычно крупное и происходящее в сравнительно короткий срок увеличение расхода воды в реке. Происходит оно или от дружного таяния в изобилии выпадавших зимой снегов при одновременном выпадении сильных дождей, или при совпадении паводков основной реки с паводками притоков, в особенности крупных, или наконец от сильных и достаточно продолжительных ливней в бассейне реки.

Наводнения, при прочих равных условиях, приобретают большую интенсивность, если русло реки имеет крутые извилины, сужения, или если в нем встречаются заторы льда, обвалы берегов, загромождающих русло, и т. п.

Быстро увеличившись, расход воды проходит по реке валом, который возрастает от одновременного поступления воды из

притоков, от встречи с каким-либо препятствием, задерживающим его движение и способствующим дальнейшему накоплению воды. Вступая в более уширенные части поймы, вал снижается, распадается.

Для предохранения прибрежий от наводнений можно ограждать их незатапливаемыми дамбами. Это — способ обвалования.

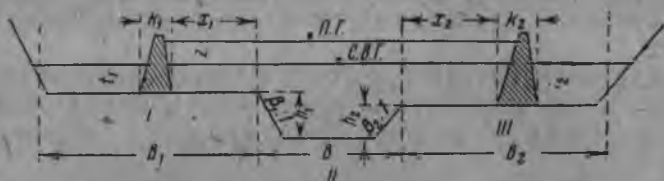


Рис. 128.

Можно также, задержав высокие воды в одном или нескольких пунктах вдоль по реке или на ее притоках при помощи плотин (запруд), выпускать задержанные воды в реку постепенно, в значительно меньших количествах (регулирование стока водохранилищами). Наконец, устраняя местные причины задержки стока, т. е. подпор высоких вод, увеличить скорость их стека-



Рис. 129.

ния по реке, чтобы не давать им возможности накапливаться в больших количествах.

Не останавливаясь на методе применения водохранилищ, рассмотрим остальные два способа.

Обвалование, не устраняя причин подъема уровня рек, имеет целью непосредственную защиту затапливаемых прибрежий сосредоточением всего половодного расхода в русле реки.

Дамбы, или валы, как их часто называют, незатопляемые самыми высокими уровнями, в том числе и катастрофическими, располагают вдоль русла высоких вод, примыкая (рис. 128 и 129),

где возможно, к незатопляемым склонам долины. В местах впадения притоков валы, ограждающие их устья, доводятся до незатопляемых частей берегов. Дамбы должны иметь поперечное сечение, гарантирующее их от возможного прорыва под напором высоких вод. Для уменьшения опасности прорыва и сокращения в случае прорыва дамбы площади затопления к продольным дамбам примыкают поперечные дамбы, так называемые траверсы, доводимые также до незатопляемых отметок местности.

Огражденная дамбами береговая площадь должна быть обеспечена от заболачивания как водою атмосферных осадков, так и фильтрационными водами, которые могут попадать через дамбы.

При назначении ширины ограждаемого валами русла, т. е. линий по берегам реки, по которым можно располагать валы, приходится считаться с рядом противоречивых условий; уменьшение живого сечения высоководного русла сопровождается повышением уровня высоких вод и увеличением скорости их течения. Это требует устройства более высоких и мощных валов с более солидным укреплением их откосов от размыва. С другой стороны, скорость течения, если река судоходна, не должна превышать известных пределов, определяемых условиями судоходства. При этом надо также принимать в расчет, как это показывает практика обвалования многих рек (в Западной Европе), подъем, с течением времени, уровня высоких вод вследствие повышения русла¹. В местах впадения притоков при назначении ширины ограждаемого русла приходится учитывать и возможное увеличение при высоких водах притоков расходов ограждаемой реки и т. д.

Так как влияние части перечисленных условий может быть учтено только приблизительно, то из осторожности ширину русла половодья следует принимать с запасом. Ширина русла высоких вод во всяком случае всегда значительно больше, чем меженного.

Для приблизительного расчета наименьшей ширины русла высоких вод между ограждающих его валов можно применить следующий способ расчета (проф. Б. Н. Кандиба. Регулирование рек).

По данным наблюдений на водомерных постах определяют поверхностный уклон воды при самом высоком из наблюдавшихся горизонтов, т. е. при так называемом катастрофическом. Затем задаются формой среднего поперечного сечения русла высоких вод (рис. 128) и по формулам и таблицам Германека определяют для частей профиля I, II и III по их средним глубинам t_1 , t_2 и t средние скорости течения:

$$v_1 = c_1 \sqrt{t_1 i_1}; \quad v_2 = c \sqrt{t_2 i_2} \quad \text{и} \quad v = c \sqrt{t i}.$$

¹ На р. Тиссе (Венгрия) высота уровня высоких вод в течение 50 лет поднялась у Сегедина на 2 м.

Соответствующие площади живых сечений:

$$F = \frac{\beta_1 h_1^2}{2} + \beta_1 h_1 (t - h_1) + (B - \beta_1 h_1 - \beta_2 h_2) \cdot t + \frac{\beta_2 h_2^2}{2} + \beta_2 h_2 (t - h_2)$$

$$\text{и } F_1 = B_1 t_1 \text{ и } F_2 = B_2 t_2.$$

Расход воды во всем живом сечении

$$Q = F_1 v_1 + F_2 v_2 + F v.$$

После постройки валов за последними, вне русла высоких вод, останутся в пределах живого сечения площади $(B_1 - x_1) t_1$ и $(B_2 - x_2) t_2$, причем весь расход должен пройти в огражденной валами части русла, т. е. в стесненном живом сечении. Очевидно, уровень воды должен при этом подняться на некоторую величину z .

Расход, проходивший в частях русла, оставшихся за дамбами, был:

$$q = (B_1 - x_1) t_1 v_1 + (B_2 - x_2) t_2 v_2$$

Он должен пройти в стесненном русле. В последнем скорости течения возрастут и могут быть приняты равными приблизительно 1,25 средней скорости каждой части.

Поэтому можем написать уравнение:

$$(B_1 - x_1) t_1 v_1 + (B_2 - x_2) t_2 v_2 = z \cdot (x_1 v_1 + B v + x_2 v_2) \cdot 1,25,$$

отсюда

$$z = 0,80 \frac{(B_1 - x_1) t_1 v_1 + (B_2 - x_2) t_2 v_2}{x_1 v_1 + B v + x_2 v_2},$$

неизвестны x_1 , x_2 и z .

Величина z должна быть такая, при которой нельзя ожидать размыва русла. Ввиду этого можно определить новые средние скорости при подпертом уровне, т. е. при пропуске всего расхода в сжатом сечении, увеличив соответственно глубины t , t_1 и t_2 по формулам или таблицам Германека:

$$v_1' = c_1' \sqrt{(t_1 + z) i_1},$$

$$v' = c' \sqrt{(t + z) i},$$

$$v_2' = c_2' \sqrt{(t_2 + z) i_2}.$$

Задавшись допустимым подпором, найдем значения x_1 и x_2 , определив их по тому же уравнению подбором применительно к избранному расположению валов.

Если прибрежную площадь надо предохранить от затоплений при уровнях более низких, чем весенние или катастрофический, то и высота валов может быть соответственно ниже, более же высокие паводки пропускаются (сбрасываются) через водосливы, специально для этого устраиваемые в валах. Водосливы устраи-

вают несколько ниже гребня (площадки) валов, но так, чтобы порог их был выше горизонта паводков, при которых разлив нежелателен. При всех высших уровнях вода будет переливаться через водосливы постепенно и медленно.

Прибрежная область будет при этом заполнена водой значительно меньше и без катастроф. После спада находившаяся за валами вода может быть спущена в реку посредством специально устраиваемых для этого в валах водоотводных труб (с затворами) и шлюзов.

Огромные работы по обвалованию рек в целях предохранения прибрежий от наводнений выполнены в Италии на р. По, в Венгрии на рр. Тиссе и Дунае, в США на Миссисипи, во Франции на р. Луаре. В Венгрии для защиты от наводнений построено 5800 км валов и защищено более 3,7 млн. га, из них около 2,6 млн. га по р. Тиссе. На этой реке ширина русла высоких вод, огражденная валами, от 500 до 1000 м при ширине меженного русла от 200 до 250 м. Местами, где валы охватывают староречья, расстояние между ними более 1 км (рис. 129).

Уровень высоких вод между дамбами поднялся за 43 года на 2,07 м. Обвалованное русло р. По (Италия) имеет значительно большую ширину, которая колеблется между 500 и 4500 м.

Интересно отметить, что расход высоких вод в трех пунктах среднего и нижнего течения По (в Тессине, Кремоне и у Ферраре) почти один и тот же. Это указывает на то, что сама река обратилась в водохранилище, регулирующее сток высоких вод по реке. Уровень высоких вод поднялся на р. По за 200 лет несколько более, чем на 2 м.

На наших реках обвалование развито слабо и производилось оно не систематически. Так, мы имеем участки, защищенные от наводнений на р. Кубани, Тереке и нескольких еще второстепенных реках.

На рис. 130 показаны типы оградительных валов.

Второй способ борьбы с наводнениями, путем увеличения скорости передвижения вала высоких вод, может быть осуществлен устранением различных причин, вызывающих образование подпоров в русле, а затем увеличением уклона реки.

Подпор в русле могут создавать местные сужения берегов или местное же повышение дна русла реки на коротком протяжении.

Как сужение русла, так и местные возвышения дна в виде гряд или групп камней и других слабо размываемых грунтов могут быть без особого труда тем или иным способом устранены.

Уклон поверхности воды на улучшаемом участке может быть увеличен при помощи спрямления прокопами извилин, т. е. сокращением длины участка реки.

Однако же эти мероприятия только до известной степени уменьшают угрозу наводнений, причем, принося пользу для данного, улучшаемого участка, они ухудшают положение ниже-

лежащего участка, усиливая на нем наводнения ускорением притока воды. Вследствие этого приходится принимать такие же меры и на нижележащем участке реки. Во избежание значительного ухудшения по отношению к наводнениям нижележащих участков подобного рода работы надо вести, начиная их снизу по течению и постепенно подвигаясь вверх против течения.

Подобного рода борьба с наводнениями проведена на большей части венгерских рек, отличающихся слабыми уклонами и влекущими сравнительно мало наносов. Так, р. Тисса, уклон

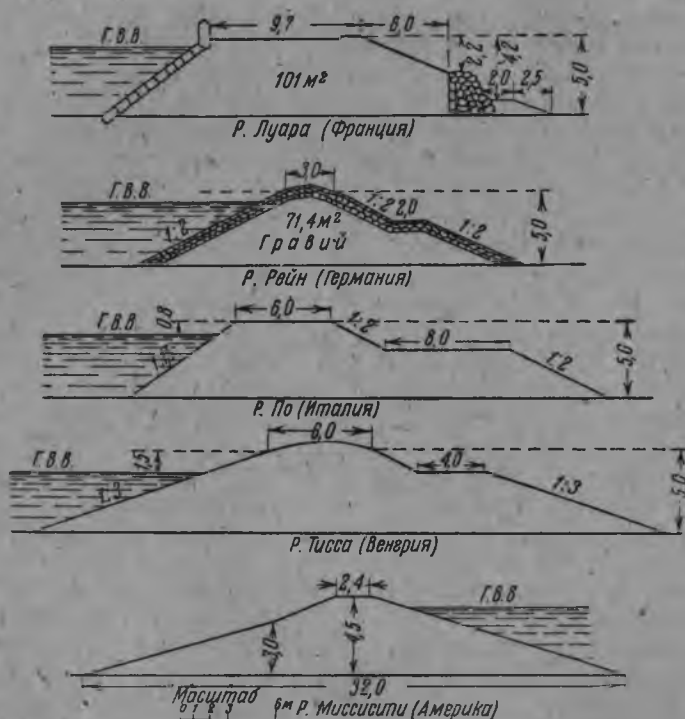


Рис. 130.

которой на последних 250 км к устью, т. е. до слияния с Дунаем, не достигает 0,003, была частично обвалована, а затем спрямлена прокопами.

Общая ее длина в 1200 км была сокращена на 453 км. В 1900 г. общая длина рек Венгрии была сокращена прокопами на 42%. Некоторые реки были сокращены в длину наполовину. В результате таких сокращений длины уклон рек увеличился, что имело последствием размыв ложа рек и понижение меженных уровней. Уровень же высоких вод в результате обвалования поднялся.

Обвалование, давая непосредственный эффект защиты от наводнений, требует особо тщательного наблюдения за состоянием валов, так как прорыв их нередко заканчивается крупными катастрофами, вроде бывшей в 1879 г. на р. Тиссе. В результате прорыва валов Сегедин — крупный промышленный город был почти совершенно разрушен.

Почти во всех странах, так же как и у нас в Союзе, имеются учреждения, предупреждающие население заблаговременно о возможности наступления наводнения.

Предупреждения эти основаны на разработке и анализе метеорологических и гидрологических данных в районе бассейна каждой реки. У нас этим делом ведает один из отделов гидрометрического комитета в Москве.

ГЛАВА VII

ТИПЫ БЕРЕГОВЫХ УКРЕПЛЕНИЙ И ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 38. Общие сведения о сооружениях и их назначение

Применяемые при выправлении сооружения могут быть подразделены на берегоукрепительные и собственно выправительные или русловые сооружения, понимая под этим названием сооружение, выступающее в русло от берега или расположенное непосредственно в русле без примыкания к берегу.

При выправлении меженного русла все сооружения, как уже упоминалось, возвышаются чаще всего до так называемого обыкновенного горизонта (общая длительность стояния которого охватывает не менее 50% навигационного периода). Поэтому меженные выправительные сооружения будут затопляемыми по отношению к уровням, высота которых выше обыкновенного.

Несмотря на это, принято все же делить сооружения на две части: подводную и надводную, но относя это подразделение к расчетному уровню, причем, говоря „подводная“ или „надводная“, про уровень уже не упоминают. Подводная часть, понятно, будет располагаться ниже расчетного уровня, а надводная — выше.

Сравнительно в редких случаях, о чем будет сказано далее, сооружения возвышаются выше уровня высоких вод.

В каждом русловом сооружении отличают корневую часть или корень (рис. 131) — это часть сооружения, соединяющая его с берегом, затем голову — часть сооружения, которой она заканчивается в русле, гребень или площадку (иногда говорят „крона“) — это верхняя часть сооружения, представляющая плоскость, ограничивающую сооружение сверху, и наконец подшву, нижнюю часть сооружения, которой она стоит на грунте русла (рис. 131).

Сооружения в поперечном сечении имеют обычно вид трапеции — простой или двойной (рис. 131). У них отличают еще и откосы — напорный, обращенный в сторону течения (иногда этот откос называют лобовым), и сливной или тыловой, задний откос, непосредственно действию течения не подвергающийся.

Головы сооружения делают также с откосом, и такой откос называют головным, в отличие от откосов тела сооружений.

По расположению относительно течения русловые сооружения делают на продольные, располагаемые вдоль русла, и попе-

речные, пересекающие поток под большим или меньшим углом, близким к прямому.

Если продольное сооружение имеет значительную длину, то его часто соединяют с берегом поперечными сооружениями, получающими название траверсов. Траверс имеет поэтому два корня, береговой и русловой, или стрежневой, головы же не имеет.

Иногда все русловые сооружения называют „дамбами“, деля их на продольные и поперечные, но чаще так называют только продольные сооружения и не прибавляют уже в таких случаях определения „продольная“. Все остальные русловые сооружения по отношению к руслу будут поперечными и каждое из них имеет собственное название уже без определения „поперечное“. Мы будем в дальнейшем придерживаться последней терминологии.

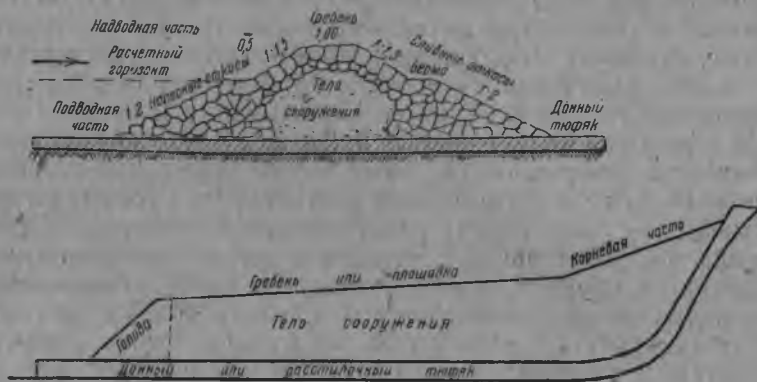


Рис. 131.

тии, как наиболее принятой среди наших гидротехников и как менее многословной. Дамбами будем называть только продольные выправительные сооружения. Дамбы делятся на струенаправляющие и раздельные.

Струенаправляющие дамбы, как и показывает само название, служат для отклонения или направления течения в одну только сторону, в сторону выправительной трассы (рис. 77, бб), составляя ее границу.

Раздельные дамбы служат для разделения течения и отделения одного рукава реки от другого. Располагаются они обычно в нижних частях островов (рис. 107, вг) на их ухвостьях или служат продолжением ухвостья острова.

Если дамба строится для ограждения прибрежной полосы от разлива реки или для ограждения затона от ледохода, то она получает название оградительной; в последнем случае всегда необходимо указывать, затопляема дамба или незатопляема.

Поперечные сооружения делятся на запруды и полузапруды. Запруда — сооружение, закрывающее реку или ее рукав по всему поперечному сечению (рис. 77, д). Если заграждается углубление

дна реки (или рукава), то запруда получает название донной запруды или порога. Донные запруды всегда затопляемы и выше общего уровня дна не поднимаются. Запруды имеют по два корня, но голов не имеют.

Если поперечное сооружение преграждает только часть русла, начинаясь у одного из берегов, то оно получает название полузапруды или буны (рис. 77, *aa*). Буны имеют по одной голове и по одному корню.

Полузапруды, гребни которых имеют крутой уклон и располагаются всегда ниже расчетного уровня, называют донными полузапрудками. Они нередко применяются для укрепления берегов (рис. 97).

Если потребуется не только укрепить берег, но и выправить его расположение в плане, иногда применяют дамбы, которые в таком случае получают название опоясок. Опояски, располагаясь часто впритык к откосу берега, имеют в таких случаях только один правильно оформленный откос, обращенный к реке, внутренний же откос со стороны берега получает очертание, согласованное с рельефом берега.

Для предохранения русловых сооружений от подмыва течением их строят на уложенных по дну реки тонких хворостяных тюфяках, которые получают название донных или расстилочных тюфяков (рис. 131). Их выпускают с напорной и сливной стороны русловых сооружений, а также около голов, прикрывая русло около подошвы сооружений и тем предохраняя подошву от подмыва течением.

Выпуски донных тюфяков делают разных размеров по ширине, в зависимости от рода и назначения сооружения, состава грунта, ложа реки и характера течения. Выпусков донных тюфяков шириной менее 4 м не делают.

Если берега русла на выправляемом участке реки в своем естественном состоянии совпадают с границами трассы, по своей природе трудно размываемы и не прорезываются оврагами, то для обеспечения их устойчивости никаких укреплений для них не требуется. В таких случаях достаточно бывает простого выравнивания надводных береговых откосов (известного под названием планировки) до уровня гребней сооружений.

Если берега отличаются неровностями, например, имеют выступы, углубления, прорезываются оврагами, но все же трудно размываемы, то их до уровней гребней сооружений следует обработать правильным откосом, срыв выступающие части и засыпав ямы, придавая откосам уклон 1:1,5. Если естественный откос их имеет более крутое заложение, то достаточно обработать их откосом с естественно имеющимся уклоном.

Обыкновенно в криволинейных частях русла выпуклые берега ограничиваются мелями (побочными) с весьма пологими откосами.

Такие берега, если они совпадают с границей выправительной трассы или отдалены от нее, оставляют в естественном состоянии.

Если берега легко размываются течением, то их необходимо укрепить, располагая береговое укрепление по ближайшей границе трассы и выбрав соответствующий условиям быта реки тип укрепления.

Так как наши реки в большинстве случаев протекают в сравнительно легко размываемых руслах, то берегоукрепительные работы являются в общем составе выправительных работ очень часто весьма крупным слагаемым. Это одна из первых работ, с которой приходится начинать выправление.

Нередко границы выправительной трассы не совпадают с естественным положением берегов. В таких случаях берега приходится создавать искусственно.

Если естественная береговая линия отступает от проектной незначительно, то целесообразно применить опояску или донные полузапруды. Опояски применяют в тех случаях, когда ложе

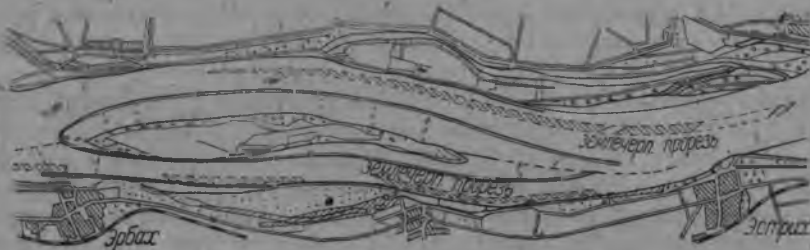


Рис. 132. Продольные дамбы, окружающие остров.

около берега не размывто или размывто незначительно и поперечный профиль русла имеет корытообразную или параболическую форму. Если русло вблизи от берега сильно размывто и имеет форму треугольника, то необходимо, как указывалось выше, применить донные полузапруды, действие которых выражается в отклонении течения от размываемого берега. Образующиеся между донными полузапрудой области значительно замедленного течения способствуют отложению наносов. Наносы заполняют размывные части русла у подошвы береговых откосов, покрывают откосы, и размыв берега прекращается.

На участках реки с меженным руслом значительной ширины или на таких участках, на которых меженнее русло имеет значительные местные расширения, выправительная трасса нередко располагается далеко от берегов. В таких случаях выправительную трассу ограждают сооружениями, создавая искусственные берега. В зависимости от местных условий трассу приходится ограждать сооружениями с обеих сторон или только с одной. На рис. 124 показано ограждение русла параллельными дамбами и бунами, а на рис. 132 — с одной стороны.

В последнем случае, когда применяется смешанная система, бунам иногда придают форму буквы Г, делают глаголеобразные буны. В некоторых случаях (в зависимости от топографических

условий) иногда и струенаправляющие дамбы получают глаголеобразную форму, имея корневую часть, выступающую в реку.

Как упоминалось выше, донные запруды или пороги применяются в тех случаях, когда необходимо остановить размыв дна или уничтожить местное углубление ложа реки. В таких случаях донные запруды ставят перпендикулярно к течению, перегораживая углубление, на сравнительно небольшом расстоянии одну от другой в уровень с прилежащим к такому углублению дном русла. Во всяком случае гребни донных запруд должны иметь такую высоту, при которой судоходство не встретит препятствий при самом низком навигационном уровне, иначе говоря, над их гребнем при самом низком навигационном уровне должна быть глубина, допускающая проход судна наибольшей грузовой осадки, допускаемой при низких уровнях, увеличенной на свободный запас глубины под килем. Достаточным запасом можно считать 50 см.

Если необходимо поднять дно русла на полную его ширину, то донные запруды ставят во всю ширину трассы, примыкая корнями к берегам. Если русло ограждено бунами или донными полузапрудами, то донные запруды могут своими корнями примыкать к этим сооружениям (рис. 97). В целях лучшего сопряжения с берегами, так же как с бунами и донными полузапрудами, донным запрудам дают в плане расположение в виде трапеции, т. е. поднимают, как это показано на рис. 83, вверх по течению среднюю часть.

Берега, входящие в состав выправляемой трассы, укрепляют в большинстве случаев до высоты так называемого обыкновенного горизонта. Часть откосов, лежащую выше этого горизонта и остающуюся неукрепленной, если она имеет высоту над обыкновенным горизонтом не более 4 м и поддается размыву, следует обработать под откос естественного уклона, т. е. такого, какой имеют берега в естественном состоянии.

Если части береговых откосов, находящиеся над укреплениями, размыты, имеют неправильное очертание и уклоны, местами близкие к вертикальным, так что при дальнейшем размыве грозят обрушением в реку, их необходимо обработать под откос, с уклоном не круче 1:25. На уровне верхней границы укрепления в таких случаях целесообразно устроить горизонтальную берму не уже 1,0 м.

Если берег возвышается над обыкновенным уровнем более, чем на 4 м, то подобная обработка откосов может стоить очень дорого. При таких условиях можно ограничиться только устройством на верхней (по высоте) границе берегового укрепления горизонтальной бермы, а выше нее береговой откос только спланировать.

§ 39. Строительные материалы

В состав выправительных сооружений входят берегоукрепительные сооружения, различного типа русловые (дамбы, за-

пруды, буны, донные запруды и полузапруды), а также плетневые сооружения и посадка, в целях укрепления берегов и укрепления положения мелей, хорошо приживающихся растений, преимущественно ивовых пород. К выправительным же сооружениям относят дамбы или валы для защиты прибрежий от наводнений.

Все эти сооружения строятся непосредственно на берегах и в руслах, без применения специальных фундаментов, почему как материал построек, так и сама их конструкция должны в максимальной степени приспосабливаться к деформациям оснований, а для сооружений, возводимых в русле, и к неровностям дна, так как планировка русел под сооружения обычно не производится. Независимо от этого материал для построек должен хорошо сопротивляться размывающему действию течения, морозам, выветриванию и обладать достаточной прочностью.

Как материал, так и конструкция сооружений должны быть такими, чтобы постройка обходилась дешево, без ущерба для прочности сооружений, и допускала быстрое производство ремонта без сложных приспособлений.

Предпочтительнее пользоваться материалами, находящимися на месте работ или вблизи от него, без сложной их предварительной обработки.

Основными материалами обычно являются: камень, булыжный и рваный, применяемый в виде наброски, грубой кладки или простого мощения, затем щебень, галька, гравий, хворост различных пород, глина и плотные песчано-глинистые породы. Как второстепенный, главным образом подсобный материал применяется лес в необделанном и обделанном виде, смольные и бельные пеньковые канаты и веревки, проволока и т. п.

Камень должен быть твердых пород, с удельным весом около двух, неразмываемый и хорошо выдерживающий наши морозы, непористый. Отдельные куски камня в частях сооружения, подвергающихся непосредственному действию течения, со скоростью 1,50—1,75 м/сек, должны иметь вес не менее 3 кг, с увеличением его при более значительных скоростях течения. Для частей сооружений, не подвергающихся непосредственному воздействию течения, применяется камень и меньшего веса, вплоть до гравия и глинистых пород. Мелкий каменный материал, песок, глина и плотные песчано-глинистые породы употребляются преимущественно для образования ядра тела сооружений с покрытием его более крупным камнем или другими неподдающимися размыву материалами (хворост), а также для подстилающих слоев. Для мостовых подбирается камень наиболее подходящей формы и размеров. Следует заметить, что камней крупных размеров и большого веса применять не следует, так как они неудобны в работе (по весу) и, кроме того, при наброске образуют значительные пустоты, через которые легко может вымываться легкая загрузка и защищаемая от размывов поверхность берегов или русла.

Наиболее часто камень применяется в виде каменной наброски в русловых сооружениях и для замощения береговых откосов. Сухая каменная кладка и особенно кладка на растворе применяются очень редко, так как такого рода сооружения сильно разрушаются при деформациях оснований, а кладка на растворе, кроме того, стоит сравнительно дорого. Береговые укрепления из кладки на растворе или бетонные, как дорогостоящие, применяются лишь в пределах городских территорий, если это требуется характером общего оформления городских берегов реки.

Широкое применение при выправительных работах особенно для защитных сооружений имеет хворост. Хворостом называют тонкие ветви и побеги ивовых и других древесных и кустарниковых растений. Хворост должен быть прямоствольный, не толще 3—4 см в комле и длиной не менее 1,50 м, хорошо прорастающий. Предпочтительнее применять хворост ивовый (краснотал, белотал, краснолозник и т. п.), но за неимением его можно брать и хворост других пород — так называемый разнородный, избегая по возможности применения хвороста хвойных пород, как наихудшего. Лиственный хворост, без листьев, применяется для канатов и для надводных частей сооружений, с листьями же его можно употреблять лишь в части сооружений, находящихся всегда под водой. Только для этих целей можно применять и хвойный хворост. Если необходимо, чтобы хворост прорастал, следует применять свежесрубленный, осенней или в крайнем случае весенней рубки. Свежесрубленный хворост не следует держать долго на складах, а как можно скорее пускать в дело.

§ 40. Вязка хворостяных тюфяков

Основным элементом хворостяных сооружений является тонкий тюфяк, который вяжется следующим образом. Перво-



Рис. 133.

начально вяжут хворостяные канаты на простых деревянных козлах (рис. 133) из наиболее длинных прямоствольных ивовых хворостин, не имеющих ветвей. Хворостины укладывают комлями в одну сторону, перекрывая одну хворостину другой не менее, чем на одну треть, пучком в диаметре от 10—12 см.

Уложенный таким образом хворост через каждые 30 см перевязывается вицами, молодыми хворостинами, с тугим стягиванием. Стягивание каната производится при помощи простого хомутика или железного сжима (рис. 134) одним рабочим, а обвязывание уже стянутого места — другим, который, заложив

конец вицы в хвост каната еще до сжатия его хомутиком, обертывает затем вицу три раза вокруг каната и подводит конец ее под последнюю обмотку (рис. 135). Иногда делают вицу с петлей (рис. 136), но это хуже, так как вица имеет лишний излом. Как только вица обвязана, хомут снимается, и канат, слегка распутившись, плотно зажимает концы вицы.

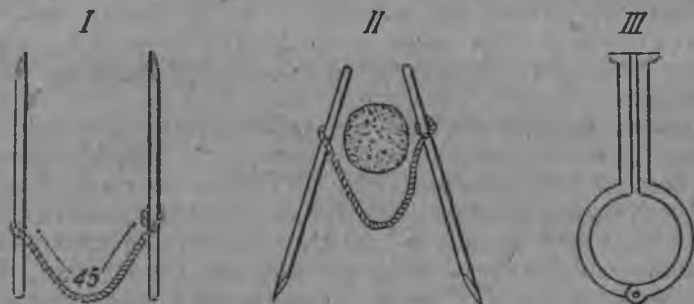


Рис. 134.

Для виц употребляют молодые побеги ивовых кустарников, предварительно распарив их над горячими углями или костром, чтобы сделать более гибкими.

Когда канаты связаны, из них делают сетку (рис. 137) с клетками в 1,0 м, связывая продольные и поперечные канаты тонкими смольными веревками и оставляя концы веревок на 20—30 см длиннее, чем толщина тюфяка. Сетка вяжется по размерам, которые должен иметь тюфяк. В узлы пересечений



Рис. 135.

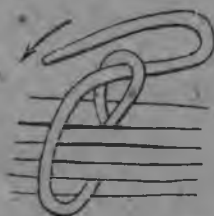
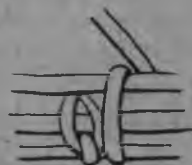


Рис. 136.



продольных и поперечных канатов сетки вставляются кольца высотой больше толщины тюфяка, с вилкой на верху кола (козульки), и на эти вилки накидываются веревки, связывающие узлы нижней сетки (рис. 137). Затем на сетку укладывают рядами хвост, комлями к краям сетки: первый ряд поперек длинной стороны тюфяка, второй — вдоль и т. д. Толщина хвостяного тела — 0,50 м. Затем уже на тюфяке устраивается из хвостяных канатов верхняя сетка, причем нижние канаты кладут перпендикулярно направлению последнего ряда хвоста. Узлы верхней сетки стягивают веревками, связывающими узлы нижней, и козульки вытаскивают. При связывании узлов верхней

сетки тюфяк уплотняют, стягивая веревки, связывающие узлы обеих сеток, при помощи аншпугов.

В зимнее время тюфяки вяжут обычно над местом их погрузки, устраивая майну (прорубь), которую перекрывают дере-



Рис. 137.

вянными пластинами (рис. 138). На пластины кладут сначала сетку, а затем вяжут тюфяк, как описано выше. Как только тюфяк связан, пластины из-под него вытаскивают и тюфяк оказывается наплаву. Тогда пластины парами (по две рядом)



Рис. 138.

укладывают над тюфяком, тюфяк подвязывают в узлах сеток к одной из пластин каждой пары и начинают загрузку тюфяка камнем, сбрасывая его в ячейки верхней сетки.

По мере укладки камня (слоем в 17 см) тюфяк начинает погружаться и повисает на веревках, подвязывающих его к пла-

стинам. По окончании загрузки рубят подвязи и тюфяк опускается на место, придерживаемый канатами (травками), которые заблаговременно пропускают через тюфяки и закрепляют на берегу. Спустя день или два травки освобождают и вытягивают наружу.



Рис. 139.

В летнее время тюфяки вяжут на берегу (рис. 139), на стапелях, около места их укладки, и спускают на воду без загрузки камнем. Расположив тюфяк над местом его погрузки и раскрещив канатами (травками), подводят к тюфяку со стороны реки лодки и укладывают на них и на берег пластины, к которым подвязывают тюфяк и начинают его загрузку, как описано выше.



Рис. 140.

Если около места укладки вязать тюфяк нельзя (неудобный берег), то вязку выполняют, где это удобно, выше места работ на стапелях (рис. 140) и оттуда спускают тюфяк по течению к месту погрузки (рис. 141).

Толстые тюфяки отличаются от тонких своей толщиной (или высотой). Толстый тюфяк в плотном теле, т. е. уже стянутый сетками, должен иметь в высоту 85 см, считая с загрузкой слоем камня в 23 см. Хворостяное тело тюфяка без канатов будет иметь толщину 52 см. Толстые тюфяки употребляют

почти исключительно для образования так называемой тюфячной кладки, применяемой для укрепления берегов и в особенности при постройке русловых сооружений. Вязка толстых тюфяков и укладка их в тело сооружений производятся так же, как и тонких.

Наибольшая длина толстого тюфяка обычно 55—60 м, а ширина — 15 м.

Если надо перекрыть в русле яму глубиной не больше двойной толщины тюфяка и по плановым размерам меньше тюфяка нормальной величины, то часть тюфяка, которая приходится над ямой, утолщается и входит в яму. Такое утолщение тела



Рис. 141.

тюфяка легко получается утолщением его тела с соответственным удлинением канатов и веревок, стягивающих сетки. Такие тюфяки называют лекальными.

§ 41. Тюфячная кладка

Тюфячная кладка получается из укладывания тонких или толстых тюфяков, загруженных камнем, одного на другой, в несколько рядов, в зависимости от высоты сооружения.

Для более прочной связи тюфяков между собой по высоте тюфяки „прошиваются“ 9- или 13-см кольями (сваями), проходящими через каждые два или три ряда. Если сооружение состоит из двух или трех рядов тюфяка, то они прошиваются все и с таким расчетом, чтобы сваи входили в грунт не менее как на 40—45 см. Сваи забиваются в тело сооружения в шахматном порядке, через 2 м свая от сваи, если гребень сооружения шире 2 м, и через 1,5 м по ширине гребня и через 2 м по длине, если ширина гребня 2 м.

Если сооружение состоит по высоте более, чем из четырех рядов тюфяков, то прошивка их делается так, как показано на рис. 142.

Подобно прошивке тюфячной кладки производится и так называемое насаживание на иглы подплощадочного (верхнего) тюфяка сооружений, т. е. такая же прошивка верхнего тюфяка к телу дамбы, только более тонкими и короткими кольями (не длиннее 1,0 м при невысоких сооружениях и не длиннее 1,5 м при высоких сооружениях).

В большинстве случаев иглы забиваются до укладки верхнего (подплощадочного) тюфяка, который вяжется уже на них, что гораздо удобнее, так как подплощадочный тюфяк обычно замаскируется. Забивка игл после укладки верхнего тюфяка, особенно если он замощен, т. е. через мостовую, пор-

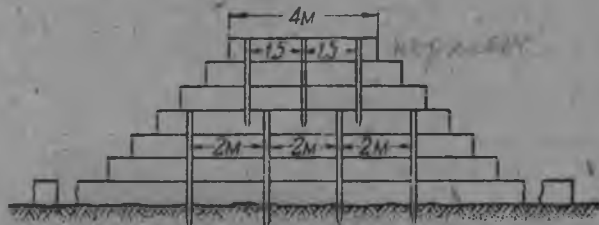


Рис. 142.

тит ее и гребует „оправки“ мостовой, а следовательно, дополнительной работы. Назначение игл — сделать более прочным положение верхнего тюфяка, больше других под-
вергающегося действию льда при ледоходах.

Тюфячную кладку следует делать с запасом по высоте „на усадку“ и на осадку. Кладка из толстых тюфяков, при высоте ее в 2 м и более, садится обыкновенно в среднем на 15%, а из тонких тюфяков — на 8%; при меньшей высоте осадку можно принимать в первом случае 10%, а во втором — 6%. Кладка толстых тюфяков более затруднительна, чем тонких. Поэтому выгоднее вести постройку хворостяных сооружений из тонких тюфяков.

§ 42. Фашинные сооружения

Хворостяные тюфячные сооружения приняты у нас в Союзе. За границей применяют главным образом хворостяные фашинные



Рис. 143.

сооружения и фашинную кладку, в которых основным элементом является фашина.

Фашина — это пук хвороста длиной до 3 м, туго стянутый в нескольких местах вицами, веревками или проволокой (рис. 143). Фашины бывают легкие и тяжелые, однокомельные и двухкомельные.

Легкая фашина состоит только из хвороста, изготавливается длиной от 2 до 3 м и диаметром в плотном теле делается 30 см.

Перевязывается она обыкновенно в 2—3 местах. Если комли хворостин в фашине обращены в одну сторону и ровно обре-



Рис. 144.

заны, то получается однокомельная фашина (рис. 143), если же фашина вяжется из хворостин, обращенных комлями к ее

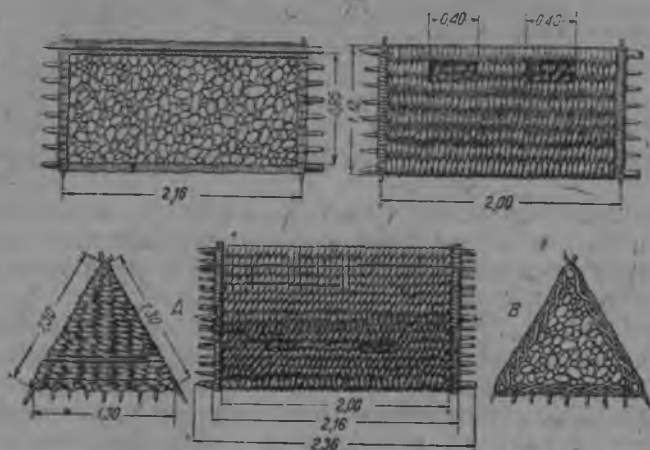


Рис. 145.

концам, т. е. в обе стороны, с обрезкой по комлям (для выравнивания) по концам фашины, то получается двухкомельная фашина. Изготавливаются фашины на станках простого устройства (рис. 144).

Если середина фашины заполняется землей или камнем (рис. 144), то получается тяжелая фашина. По концам тяжелые фашины закрываются пучками хвороста (пробками, рис. 144). Кроме тяжелых фашин применяют еще тяжелые кор-

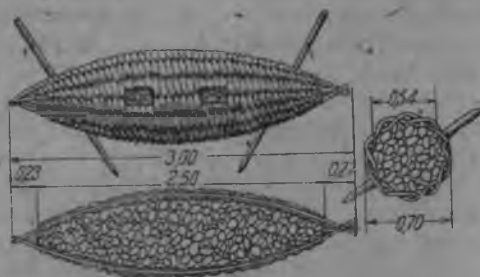


Рис. 146.

зины разных форм (рис. 145 и 146). Изготавливают и так называемые бесконечные фашины (рис. 147), длина которых значительно больше длины фашин нормальных размеров. Они напоминают

прутяные канаты и изготавливаются такой длины, какая необходима по типу сооружения. Чаще всего их применяют при укреплении берегов.

Так как фашинные тьюфяки и фашинная кладка у нас не применяются, то на описании их мы не останавливаемся¹.



Рис. 147.

§ 43. Береговые укрепления. Габионы Пальвиса

Переходя к типам береговых укреплений, необходимо отметить, что их, как и русловые сооружения, принято делить по отношению к принятому расчетному уровню реки на подводную и надводную части.

Применять береговые укрепления приходится преимущественно на вогнутых берегах, которые главным образом и подвергаются разрушению от размыва. Выпуклые берега размываются редко и чаще всего высокими водами, когда направление их течения не совпадает с направлением меженного потока; разрушение выпуклых берегов происходит иногда и под влиянием грунтовых вод, вызывающих оползание главным образом надводных откосов.

Размыв вогнутых берегов происходит или по всей их длине или же, что наблюдается значительно чаще, сосредоточивается в наиболее вогнутых их частях. Размыв может происходить или более или менее равномерно или же с усилением в одних точках и ослаблением в других, т. е. неравномерно по длине берега, причем линия размыва получает в плане рваное очертание.

Укрепляемые берега входят при производстве выправительных работ в состав выправительной трассы, являясь ее границами. Поэтому границы трассы и определяют расположение в плане линии укрепления берегов.

Тип берегового укрепления, для какой бы цели оно ни назначалось, должен быть обязательно в соответствии с бытовыми

¹ Хворостяные и фашинные сооружения и кладка их подробно описаны в книге Е. Водарского „Берегоукрепительные и выправительные сооружения на реках“.

особенностями реки, с геологическим строением берега и с гидро-геологическими его свойствами, а также с плановым очертанием берега и его рельефом и отвечать своему назначению. Само собою разумеется, что материалы постройки должны быть надлежащей прочности, а по цене возможно более дешевыми. Последнее делает предпочтительным пользование местными строительными материалами.

Устойчивость берега тем больше, чем при прочих равных условиях устойчивее его основание, т. е. та часть русла реки, которая непосредственно примыкает к откосу берега и поддерживает его, являясь для него как бы фундаментом. Эту часть русла, точнее — дна русла, называют подошвой откоса. Если начинает разрушаться (размываться) подошва берегового откоса, то и для целостности откоса создается угрожающее положение. Когда размыв подошвы переходит за известные пределы, откос начинает разрушаться и обрушивается.

Обычно одновременно с размывом подошвы размывается внутренними течениями и нижняя часть подводного откоса, приобретает все более и более крутой уклон, что вызывает оползание сначала верхней части подводного, а затем и надводного откосов.

Подводный откос можно поэтому рассматривать как основание надводного. Разрушение первого влечет за собой и разрушение последнего. В силу этого иногда бывает совершенно достаточно для обеспечения устойчивости надводного откоса укрепить только подводный.

Нередко подводный откос размывается только в верхней части, а надводный одновременно в смежной с ним нижней части, причем размыв этот выражается в неправильной форме выемки по урезу наиболее постоянного уровня воды. Это — размыв, вызываемый волнами реки, образующимися как от прохода судов, так и от ветра.

Наконец может размываться только надводный откос, вследствие действия течения при горизонтах более высоких, чем расчетный уровень. Нередко надводные откосы разрушаются высокими водами, когда они текут уже в меженных берегах, или, как говорят, в ярах.

В соответствии с характером хотя и медленного, но постоянного переформирования планового расположения находящейся в естественных условиях реки наиболее интенсивный размыв вогнутого берега не концентрируется постоянно в одной точке, а постепенно перемещается вниз по течению. Это надо учитывать при укреплении берегов и не ограничиваться поэтому укреплением только части берега, размываемой в момент производства работ, но укреплять и часть берега, лежащую ниже. Точно так же необходимо укреплять берег, лежащий выше укрепляемой части, так как цикл перемещения размыва периодически возобновляется и размыв может начаться снова с верхней по течению части вогнутого берега. Независимо от этого при

уровнях вышних, чем расчетный, размыв может переместиться в верхнюю часть берега.

Естественно, возникает вопрос: на сколько же необходимо удлинять береговое укрепление вверх и вниз (считая по течению) от укрепляемой части берега? Вопрос этот разрешается в соответствии с расположением трассы. Вогнутый берег всегда располагается между двумя выпуклыми, так что вогнутая часть трассы лежит между двумя точками перелома или изгиба трассы (рис. 148). Если вогнутый берег размывается, то укрепление его

должно заходить за точки перелома на длину не менее 10 м. Это будет гарантировать от размыва как верхний конец (корень) укрепления, так и нижний. На выправленном перекате закрепляется устойчивое положение, и размыв берега не должен уже выходить за пределы вогнутого берега, так как положение последнего делается неизменным.

Если размываемый берег остается на границе трассы, а размыв подошвы и откоса только начинается, причем естественные глубины около берега невелики, то наиболее простым типом укрепления подводного откоса будет укрепление тонким хворостяным тюфяком (рис. 149). Находясь на урезе расчетного горизонта, тюфяк покрывает размываемый откос и должен перекрыть подошву, если бы даже подошва и не размывалась.

Перекрытие подошвы должно быть сделано по ширине русла не менее, чем на 4 м (рис. 149). В случае размыва русла тюфяк будет опускаться и достаточно защитит подошву.

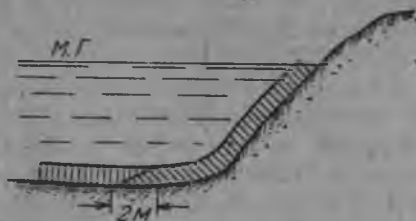


Рис. 150.



Рис. 149.



Рис. 151.

Если размыв подошвы начался и захватывает широкую часть русла, а глубина около берега значительна, так что одним тюфяком перекрыть и откос и подошву трудно (тюфяк получается очень широким, что затрудняет его вязку), то укладывают по ширине два тюфяка. Стык их должен быть сделан на подошве,

а не на откосе (рис. 150) в предупреждение возможного сползания тюфяка по откосу.

Концы тюфяка (по его длине) должны быть заведены в берег, т. е. врыты заподлицо, так как укрепление должно иметь корни для предупреждения размывов за концами тюфяков и обхода укрепления течением, как это наблюдалось на практике.

Укрепляемый подводный откос может иметь различные уклоны. Это зависит от рода слагающего его грунта и степени размыва. При уклонах не круче 1:1 откос можно покрывать тюфяком по грунту. Если откосы круче 1:1, их следует дополнять до одиночного уклона подсыпкой камня или тюфячной кладкой, а иногда даже и землей (при малых скоростях) и затем уже перекрывать эту подсыпку тюфяком.

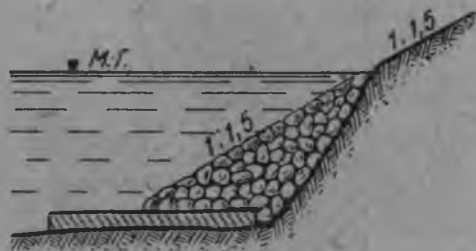


Рис. 152.

Если хвороста нет или он дорог, а камень дешевле, то укрепление следует сделать из каменной наброски в виде призмы, с уклоном откоса 1:1,5 и с бермой шириной не менее 1,0 м на урезе расчетного уровня. При трудно размываемой подошве ее ничем не укрепляют, если же можно ожидать ее размыва, то необходимо уложить донный тюфяк, как показано

на рис. 152, и на нем уже вести каменную отсыпь. Тюфяк вводится под тело каменной призмы не менее, чем на 2 м, и выпускается на подошву не менее 4 м.

Если нет хвороста и камня, но можно получить бревна (бревна, а не лес на месте, так как если есть лес, то должен быть и хворост, который тогда и можно использовать), то применяется укрепление за-

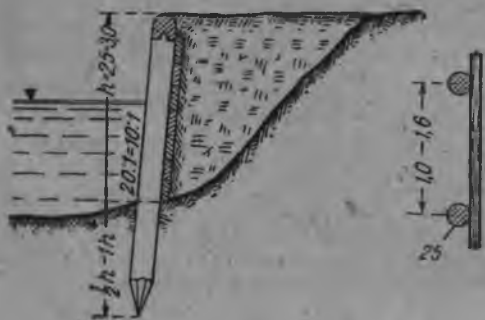


Рис. 153.

борчатой стенкой (рис. 153), нешпунтованной или со шпунтом в зависимости от скорости течения и рода грунта, из которого сложен берег. При значительных скоростях течения и легко поддающемся размыву грунте следует применять шпунтовую стенку.

В Италии и Франции получил распространение способ укрепления берегов габионами Пальвиса, о которых говорилось выше.

В целях экономии камня и лучшего оформления сооружений итальянским инженером Пальвисом был предложен способ постройки их из так называемых габионов.

Габион — складной четырехугольный ящик из железной оцинкованной проволоки (рис. 154 и 155), сплетенной сеткой. Ящик обычно делают размером от 2 до 6 м в длину, а по высоте и ширине от 0,5 до 2,0 м. В зависимости от размеров ящика проволока для сеток берется от 2 до 6 мм в диаметре. Ребра ящика из оцинкованных железных прутьев диаметром от 5 до 15 мм. Для перевозки ящик может быть развернут (рис. 154) и плоско сложен. Перед

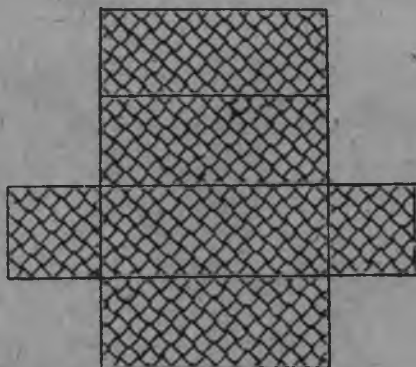


Рис. 154.

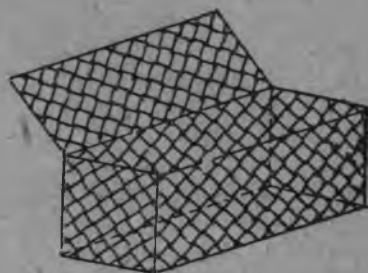


Рис. 155.

наполнением габионов ребра поперечных стенок связываются проволокой, ящик заполняется камнем, а крышка его скрепляется со стенками. До загрузки стенки ящика для большей жесткости связываются между собой внутренними проволочными же связями. Нагруженный ящик, если его надо ставить под воду, например, для укрепления берега, спускается на

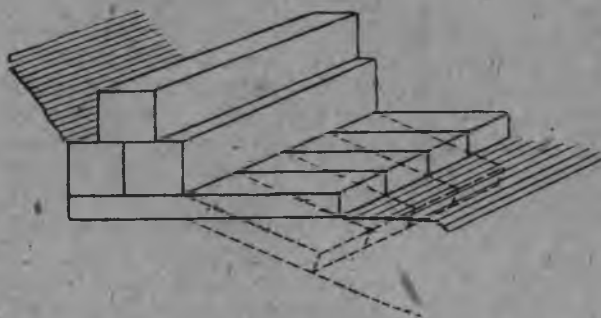


Рис. 156.

место при помощи простой наклонной плоскости или опускается на канатах. Габионы укладывают в несколько рядов по ширине и высоте, устраивая таким образом прочную защитную стенку.

Кладка ведется уступами (рис. 156), причем в надводных

частях ящики скрепляются между собой по ребрам проволокой, а между берегом и стенкой производится засыпка плотным грунтом. Из габионов строят также русловые сооружения.

По сравнению с каменной наброской габионы требуют меньшего количества камня, но много оцинкованной проволоки.

Габионы обладают малой жесткостью и могут деформироваться, не разваливаясь, так что при осадке укрепление из габио-

нов не разрушится. Наносы кольматируют габионы, так что в результате получается плотная водонепроницаемая стенка.

Габионы применяются преимущественно как подпорные стенки. Кроме параллелепипедальных применяются цилиндрические габионы и мешкообразные.

Если приходится укреплять подошву на значительной ширине, то для этого можно применить тонкий тюфяк, а подводный откос укрепить габионами, помещая их на этот тюфяк. Так

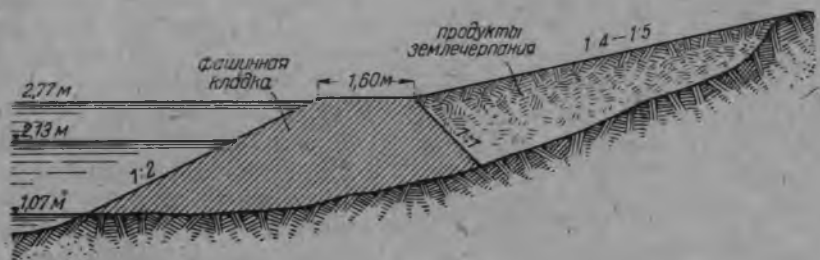


Рис. 157.

как со стороны берега габионы будут идти уступами, отдаляясь от берега, то остающееся пространство (пазуху) между ними и откосом необходимо заполнить грунтом.

Заграничный опыт показывает их практичность, у нас же пока габионы практического применения не получили, если не считать незначительного использования их в Туркестане.

Если размываемый вогнутый берег отступает от границы трассы более чем на 1 м, но не далее 10 м в вершине кривой,



Рис. 158.

то требуется не только укрепление берега, но и восстановление его планового положения. В этих целях в указанных границах применяют так называемые опояски. Это — дамбы из тюфячной кладки или камня или смешанного типа, располагаемые по границе трассы (рис. 157).

Дамбы эти делают трапециoidalного поперечного сечения с уклоном откоса со стороны реки не круче 1:1,5 (лучше 1:2) и с шириной гребня, в зависимости от скорости течения и глубины, от 1 до 2 м. Чем больше скорость течения и глубина, тем шире должен быть гребень.

Что касается уклона откоса со стороны берега, то он делается круче: в каменных опоясках до 1:1, а в тюфячных — до вертикального. При смешанном типе опояски подводная часть сооружается из тюфячной кладки, а надводная из камня (рис. 158). Надводная часть имеет берму не уже 1,0 м с каждой стороны. Смешанный тип предпочтительнее типа из тюфячной кладки, так как в последнем надводная часть, подвергаясь то затопле-

нию, то обнажаясь, может скоро сгнить. Дамбы следует ставить на донном расстилочном тюфяке, который защищает подошву от размыва и должен быть выпущен в реку не менее, чем на 5 м.

Относительно выпуска донных тюфяков в реку или относительно их ширины необходимо иметь в виду следующее. Назначение донных (или расстилочных) тюфяков — защищать подошву от размыва. Характером размыва подошвы, ее рельефом, и определяется

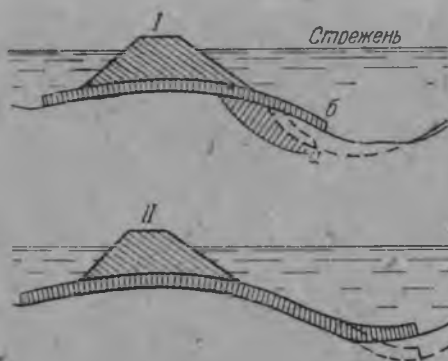


Рис. 159.

ширина донного тюфяка. Поэтому неправильно будет расположить донный тюфяк так, как это показано на рис. 159, I. При дальнейшем размыве подошвы тюфяк своей цели не достигнет, подошва будет размыва под ним.

Положить тюфяк надо так, как показано на рис. 159, II. Тогда при дальнейшем размыве русла тюфяк вполне защитит подошву от размыва. Опояска может быть сделана также из габионов.

Как только опояска коснется берега, откосы ее со стороны последнего будут параллельны откосам берега, к которым и будут примыкать.

Пазуха между опояской и берегом загружается (рис. 157) землей, а сверху или замащивается или засаживается тальником.

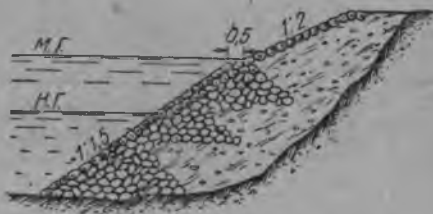


Рис. 160.

Если на месте имеются тяжелые грунты (хрящеватые, галечные, каменная мелочь или даже песок), то можно применить каменную опояску, показанную на рис. 160. Строится она так: сначала отсыпается нижняя каменная призма. За ней в уровень с ее гребнем делают загрузку. Затем отсыплют вторую снизу призму, кладут загрузку за нее и т. д. Надо заметить, что постройка этого типа укрепления сложна и применяется поэтому очень редко.

Если надо закрепить положение выпуклого берега, размываемого в подводной части, то применяют в большинстве случаев хворостяные тюфяки. Если размыв не силен, то укрепление лентами тюфяков допустимо не сплошь всего берега, а с интервалами, как показано на рис. 161.

При значительном отступлении размываемого берега от границы трассы, свыше 10 м в вершине вогнутой кривой, вместо опоясок применяют дамбы, в сущности те же опояски, или донные полузапруды.

Дамбы обычно соединяют в нескольких местах с берегом траверсами; промежутки между траверсами лучше загрузить сразу же при постройке дамбы, чем ждать заполнения их наносами, так как нередко между траверсами течение вымывает глубокие ямы. Траверсы следует строить с подъемом от дамбы к берегу с полукторным уклоном откосов.

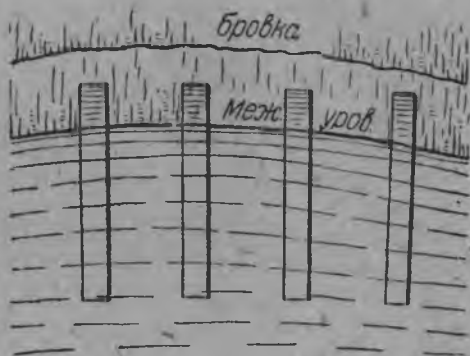


Рис. 161.

Как опояски, так и дамбы, в местах примыкания их к берегу, должны иметь корни, т. е. закрепляться в котлованах, вырытых в откосе берега.

Устраивать глубокие котлованы нет надобности. Их можно делать не глубже 1,0 м от расчетного уровня, что несложно и вполне возможно без водоотлива.

Дамбы применяются тогда, когда подошва берега или дно русла размываются нормально, т. е. не образуя глубокого треугольного профиля.

Если размыв дна значителен и поперечные профили у вогнутого берега имеют ярко выраженную треугольную форму, необходимо применить донные полузапруды.

Они должны перекрывать наибольшую глубину (рис. 162) и выравнивать и откос и ложе реки, т. е. не только образовывать новый берег по трассе, но и отклонять течение в сторону стрежня. Уклон гребней донных полузапруд должен быть одинаков. Определяется он по уклону гребня той донной полузапруды, которая будет расположена в вершине вогнутой кривой берега или около нее. Донные полузапруды располагаются на донных тюфяках с выпуском их как с напорной, так и со сливной стороны полузапруд, а также у голов, которые будут подвергаться наибольшему размывающему действию течения.

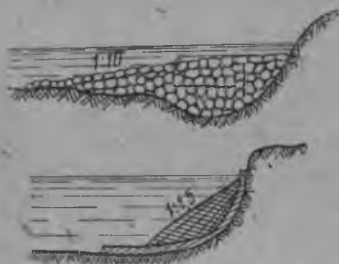


Рис. 162.

Проектируя донные полузапруды, следует иметь в виду необходимость сохранения в общем треугольной формы живых сечений русла, так как подобная форма обеспечивает образование внутренних течений комбинированного типа, благоприятных для поддержания глубины у вогнутых берегов.

Донные полузапруды могут быть построены как из тюфячной кладки, так и из каменной наброски. Ширина гребня площадки обыкновенно 2,0 м, уклон откосов: напорного — 1 : 1,5, сливного — 1 : 3. Выпуск донного тюфяка со стороны напора меньше, чем со сливной стороны, но не менее 5 м, со сливной же — не менее 7 м. Со стороны головы ширину выпуска тюфяка следует

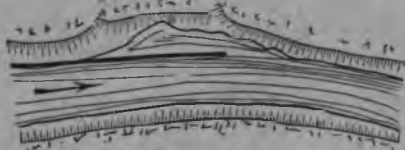


Рис. 163.

сообразовывать с рельефом дна и вероятностью дальнейшего его размыва.

Расстояние между донными полузапрудами не должно быть больше половины ширины судового хода. Чем больше скорость течения и глубина, тем чаще надо ставить донные полузапруды.

В практике выправления заграничных рек встречается часто применение донных полузапруд для отклонения течения от струенаправляющих дамб. Донные полузапруды в таких случаях располагаются перпендикулярно к направлению течения с расположением их корней ниже расчетного уровня реки примерно на

1,0—1,5 м. Иногда, в зависимости от их длины, корень располагается на расчетном уровне. У нас такое применение донных полузапруд распространения не получило, с одной стороны, потому, что в этом не встречалось настоятельной необходимости, а с другой — мы отдаем в подобных положениях предпочтение углублению по оси трассы, точнее судового хода, землечерпанием, что и отвлекает течение от дамбы.

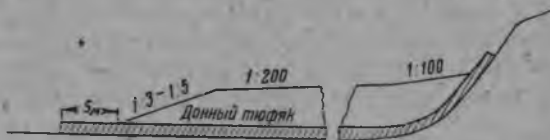


Рис. 164.

Если размыв вогнутого берега сосредоточивается главным образом в средней его трети, то иногда, в соответствии с очертанием трассы, представляется возможным заменить донные полузапруды продольной дамбой (рис. 163), имеющей длину не меньшую двух третей длины размываемого берега. Если при помощи такой дамбы можно отклонить течение по трассе в соответствии с ее направлением, то применение дамбы следует предпочесть донным полузапрудам, так как ее действие на течение будет не хуже действия донных полузапруд и в большей степени обеспечит образование внутренних течений комбинированного типа. Гребень дамбы должен иметь подъем от головы к корневой

части не положе 1:200, а в корневой части — не положе 1:100 (рис. 164).

Откос со стороны реки должен иметь уклон 1:3, со сливной стороны, не круче 1:1,5, а лучше 1,2. Со стужековой стороны ширина выпуска донного туюяка должна быть сообразована с возможностью размыва русла так же, как выше указывалось для головы донных запруд. Со сливной (береговой) стороны выпуск может быть 5 м шириной, но у корневой части, где постоянно бывают размывы, не менее 10 м. Дамба должна иметь корень. Откосу головы следует давать уклон не круче 1:3, а лучше 1:5; выпуск донного туюяка у головы делать не менее 10 м по ширине, так как около головы будет всегда довольно сильное течение, часто отклоняющееся за голову к берегу.

Наблюдаются случаи, когда вогнутый берег бывает размыт весьма неравномерно.

При таком положении выправление берега может быть произведено тремя способами. Если размытая его часть имеет сравнительно небольшую глубину и течение средней силы, причем располагается оно по направлению трассы, то можно применить укрепление туюяком, при более сильном течении строят или струенаправляющую дамбу или буны.

§ 44. Русловые сооружения

К русловым сооружениям относят буны, дамбы, запруды и полузапруды. Располагаются буны, если ложе реки размываемо, на донных туюяках. Гребень бун, точно так же как и гребень дамб и запруд, возвышают над расчетным уровнем реки обычно на 1,0 м. Если длительность стояния уровней выше расчетного уровня на 1,5 м является преобладающей в течение навигации, то гребень возвышают до этой высоты. Так, например, на Волге и Днестре за расчетный уровень принимался средненизкий меженный и сооружения над ним вызвышались на Волге на 0,70 м, а на Днестре на 1,2—1,5 м. Гребням бун дают подъем от голов к берегу от 1:100 до 1:200 в зависимости от высоты естественного берега, к которому примыкают буны, и от их длины, но во всяком случае корень бун не должен располагаться выше гребня берега.

Иногда, при длинных бунах, корневым частям примерно на длине $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{10}$ буны дают более крутой подъем, чем остальным ее частям.

Продольный уклон гребней бун имеет целью направлять течение (когда буны затоплены) в сторону выправительной трассы и, кроме того, создавать постепенное расширение русла во время прибыли воды. Придание же более крутого подъема корневым частям буны имеет в виду устранение возможности образования водоворотов, вызывающих размывы русла около корней частей. Если берег низкий, то не следует поднимать корни бун выше берега, чтобы не создавать на последнем при его затоплении порогов, так как течение, обходя эти пороги, будет разрушать около них берег.

По всей длине буны должны иметь однообразное поперечное сечение. Применявшееся в прежнее время уширение голов, имевшее целью увеличить их сопротивляемость ледоходам, оставлено как излишнее, так как ледоходы проходят на высших уровнях, при подвижках же льда такое уширение слишком по сравнению с силой подвижек и ведёт только к излишней трате материала и усложнению конструкции.

Уклон поперечных откосов бун делают обычно одинаковым: от 1:1 при тюфячной кладке до 1:1,5 при каменной наброске. При более предпочтительном смешанном типе подводная часть из тюфячной кладки может иметь уклон откосов 1:1, а надводная, из камня, 1:1,5. Надводная часть имеет берму шириной от 0,5 до 1,0 м.

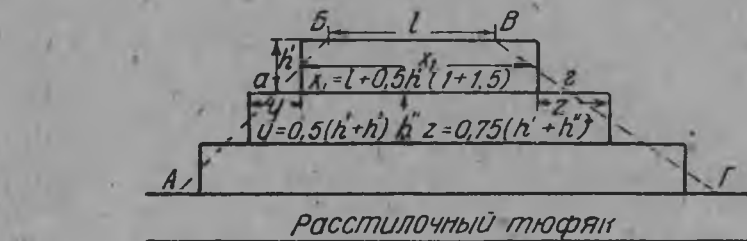


Рис. 166.

Головы бун, ограничивая боковые стороны русла, должны иметь пологий откос в соответствии с крутизной откосов проектируемого поперечного профиля меженного русла. Поэтому обращенному к реке откосу головы дают уклон не круче 1:3, но лучше 1:5, защищая подошву от размыва выпуском донного тюфяка необходимой ширины, руководствуясь приведенными выше соображениями. Пологая форма откосов голов противодействует в известной степени образованию вредных водоворотов и способствует, как показала практика, лучшему отложению наносов между бунами.

Если надо при помощи бун значительно отклонить течение в сторону трассы, то строят буны глаголеобразного типа (рис. 165),

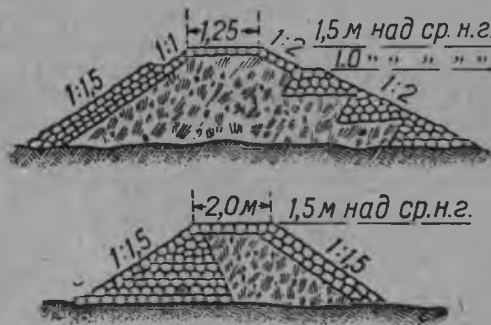


Рис. 167.

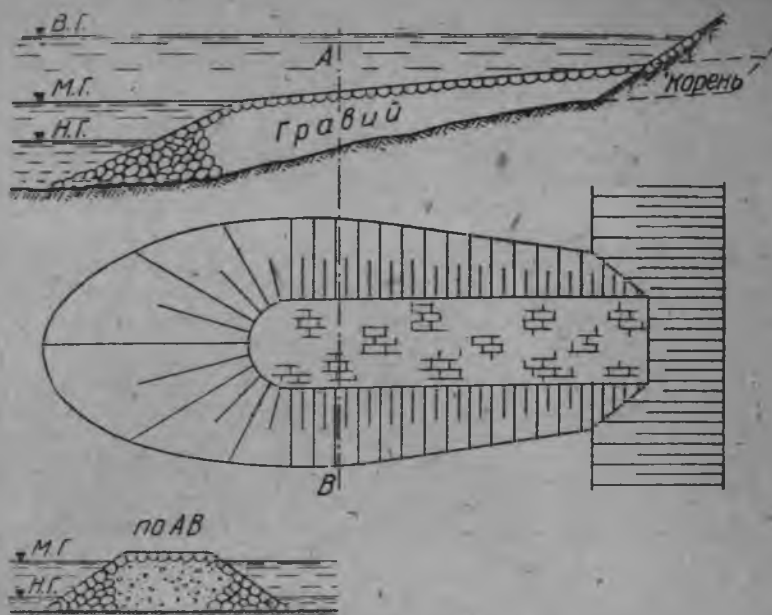


Рис. 168.

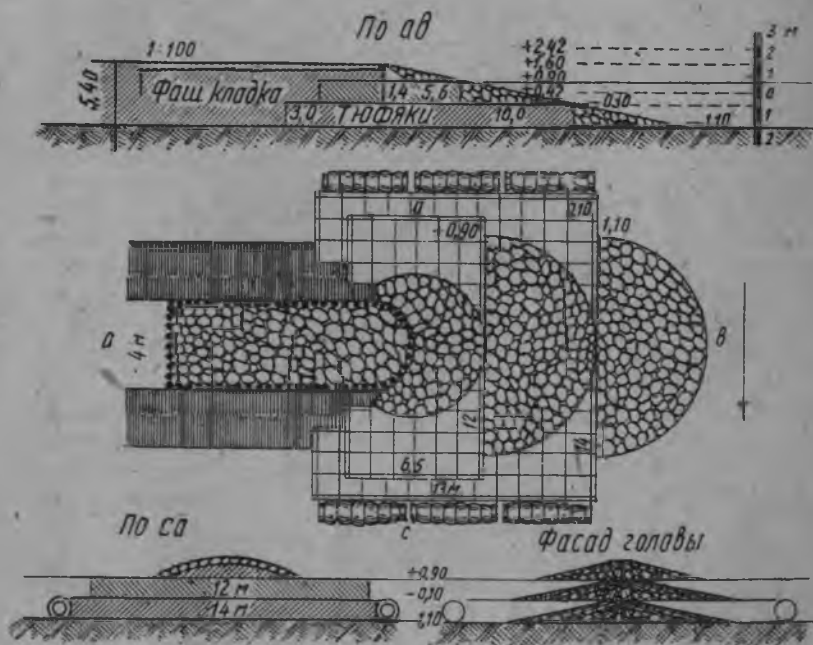


Рис. 169.

т. е. к бунам добавляют струенаправляющие части, которые не должны быть короткими, так как тогда действие их будет мало отличаться от действия уширенных голов и цели своей не достигнет, и не слишком длинными, чтобы не препятствовать отложению между бунами наносов. В силу этого продольные части бун обычно делают не длиннее одной трети расстояния между бунами. Если течение направляется сравнительно сильным током в сторону бун, то лучше применить струенаправляющую дамбу, усилив ее донными полузапрудами. Применение в подобных случаях глаголеобразных бун является полумерой и сопровождается образованием значительных водоворотных явлений у голов продольных частей бун, что мешает движению судов, оттягивая их к бунам.

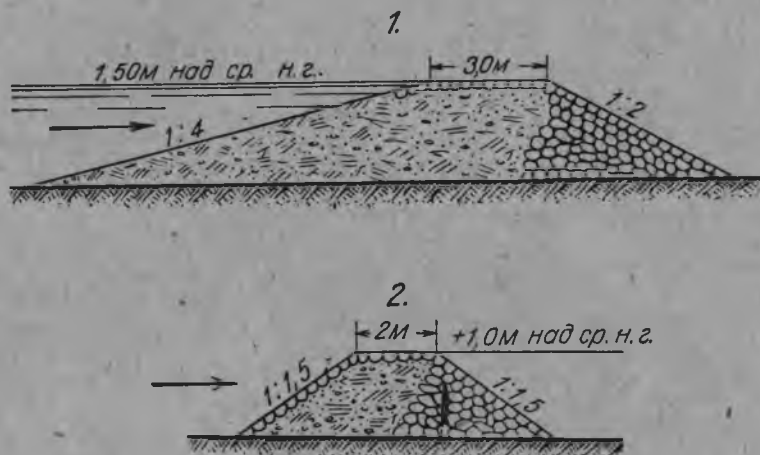


Рис. 170.

На рис. 166—172 показаны различные типы бун. Наиболее принятый тип у нас — это тип, показанный на рис. 166, из тюфячной кладки. Если по местным условиям выгоднее строить из камня, то бунам дают также трапециoidalное поперечное сечение. Показанный на рис. 169 тип буны сложен, причем сложность эта не вызывается условиями быта реки или той работой, которую должны выполнять буны. Бун такого типа строить не следует. Показанный на рис. 170, 1 тип буны имеет очень пологий напорный откос. Это буны из хряща или мелкого гравия. Каменный сливной откос играет роль опорной стенки. Первой насыпается каменная призма и к ней уже подсыпается гравий.

Располагаясь по руслу неодинаковой глубины как дамбы и буны, так и все вообще русловые, типа дамб, сооружения имеют неодинаковую высоту: на глубоких местах она больше, на мелких, преимущественно у берегов, она меньше. Поэтому в плане — основания (нижние слои) таких сооружений и донные тюфяки расширяются на глубоких местах и суживаются на мелких, как это видно на рис. 168.

Гребни бун и дамб, если ледоходы проходят (или могут проходить) на уровнях близких к площадкам гребней, иногда укрепляют в тюфячных сооружениях загрузкой более толстого слоя камня. В подобных случаях площадки гребней следует вымощивать или в крайнем случае отделять плотной укладкой камня, как и при сооружениях из каменной наброски, применяя более крупный камень.

Для усиления гребней тюфячных сооружений применяют и следующий способ. На них устраивают плетневые клетки, размером 2×2 м и высотой 15 см, и заполняют камнем. Однако рекомендовать такой способ нельзя, так как плетневые клетки разрушаются ледоходом скорее и легче, чем мостовая. Последнюю лучше укрепить укладкой по краям гребня (по его периметру) прутяного каната, который будет окаймлять мостовую и защищать от непосредственных боковых ударов льда¹.

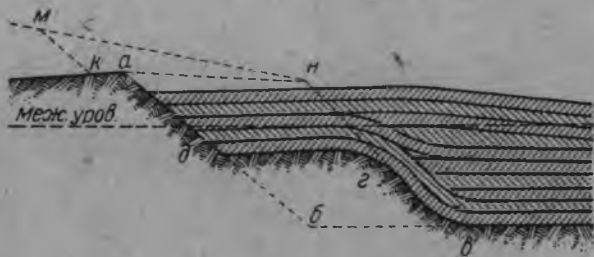


Рис. 171.

Если каменные набросные сооружения строятся из мелкого камня, то головы их следует делать из более крупного или прикрывать слоем крупного камня, а откосам давать более пологие уклоны.

Сравнительно редко встречается у нас применение донных запруд или порогов. Последние имеют также трапециoidalное поперечное сечение и располагаются перпендикулярно к течению межених вод. Откосу с напорной стороны придают обычно уклон от 1:1 до 1:1,5, а сливному от 1:2 до 1:3. Уклоны откосов в донных запрудах не играют большой роли для усиления отложения наносов,

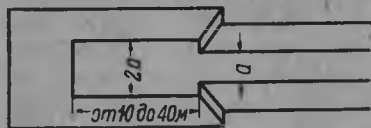


Рис. 172.

вследствие замедленного течения по дну, а потому, как это подтверждает практика, откосы донных запруд могут иметь уклон одинаковый и крутой.

Высота донных запруд находится в зависимости от высоты, до которой надо поднять дно в заграждаемом ими углублении, и не должна препятствовать свободному движению над ними судов при самых низких навигационных уровнях. Расстояние между донными запрудами зависит от скоростей течения, глубины заграждаемых углублений и качества грунта русла. Чем

¹ Канат этот связывается с канатом подплощадочного тюфяка смольной бечевой через 2 м.

больше глубина, чем больше скорости течения и чем рыхлее грунт ложа реки, тем чаще надо ставить донные запруды. Во всяком случае расстояние между ними не должно быть более десятой доли ширины трассы, если их ставят в границах трассы, или ширины русла, если они перегораживают все русло.

Если промежутки сейчас же засыпаются продуктами черпания, то расстояние между запрудами может быть больше в 2—2,5 раза.

Запруды или поперечные сооружения, заграждающие все



Рис. 173.

русло реки или рукавов ее до расчетного уровня и выше, так же как дамбы и буны, имеют в поперечном сечении форму трапеции с гребнем шириной от 2 до 4 м и с уклонами откосов: напорного от 1:1 до 1:2 и сливного от 1:1,5 до 1:4, а иногда и положе. Запруды выдерживают при меженных уровнях напор воды, равный величине падения участка русла от истока загражденного рукава до его устья, обыкновенно незначительный. Но

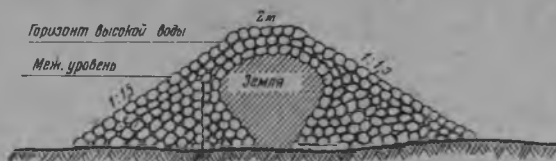


Рис. 174.

все же надо обращать большое внимание на то, чтобы основание их не размывалось фильтрующей под ним водой. Для этого выпуски донных тюфяков надо делать шире, чем в прочих сооружениях.

Более прочно должны строиться и корни запруд во избежание обхода их течением, для чего они углубляются на значительную длину в берега, а берег у корневых частей укрепляется с обеих сторон корня, т. е. выше и ниже, считая по течению. С этой же целью для отклонения течения от корней греб-

ням запруд дают подъем от середины к берегам, так что запруда получает в вертикальной плоскости вогнутое по гребню очертание, обращенное вогнутостью вниз (рис. 173). Гребень в средней части, при длинных запрудах, делают горизонтальным примерно на одной трети длины запруды, а корням дают подъем до 2 м.

Нередко запруды делают с ядром из земли или суглика, ограждая его по сторонам каменными призмами (рис. 174).

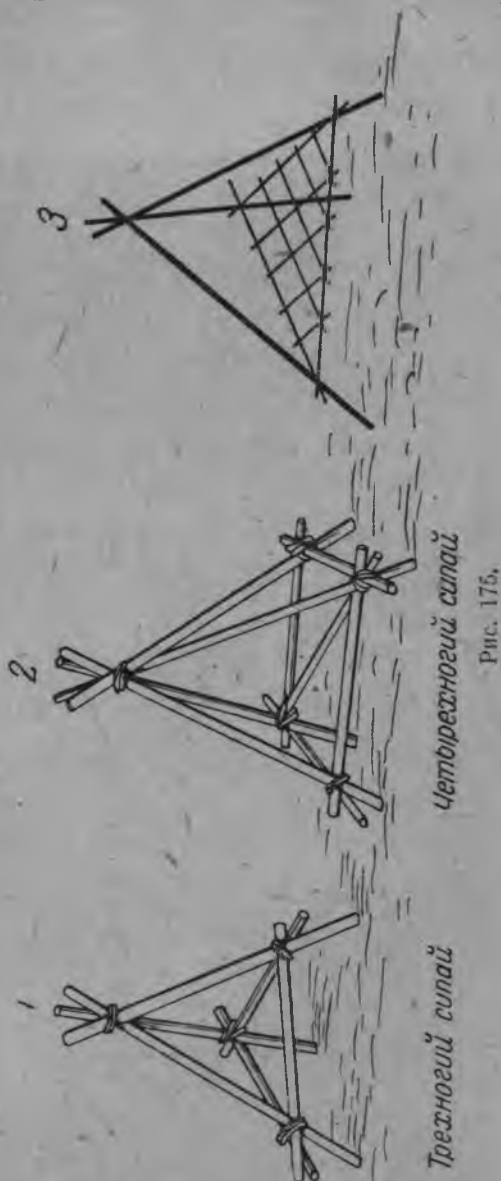
О выборе места для расположения запруд говорилось уже выше.

На реках сравнительно небольшого расхода сооружения делаются менее мощные, причем применяются и иные типы, так же как и на реках, влекущих особенно много наносов и протекающих в легкоподвижных грунтах.

§ 45. Сипай

На реках Закаспийского края (Аму-Дарье, Сыр-Дарье), Индии и Китая берегоукрепительные и выправительные сооружения строят из так называемых сипаев. Сипай (по-русски—тренога) составляется из связанных между собою бревен диам. от 10 до 18 см (рис. 175) в виде трехгранной или четырехгранной (черпай) пирамиды высотой, в зависимости от глубины дна, от 4 до 8 м. Бревна прочно связывают в вершинах железной проволокой диам.

4—5 мм, а концы их расставляют, образуя равносторонний треугольник, придавая бревнам уклон в зависимости от необходимости, по условиям скорости течения, устойчивости. На высоте, равной высоте над дном рабочего горизонта, ноги сипая



(бревна) скрепляются проволокой же с горизонтальными бревнами, такой же толщины, как и ноги. Чтобы горизонтальные бревна не опускались вниз, проволоочная связь закрепляется железными скобами. Иногда устраивают четырехреберные сипаи

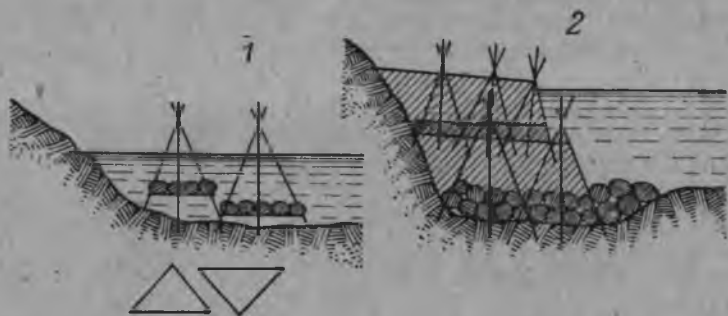


Рис. 176.

(они получают название „черпай“) и тогда к обвязке горизонтальными бревнами добавляют еще для жесткости диагональные связи.

Подготовленные таким образом сипаи опускают на тросах с блоками (сипаи очень тяжелы) в реку в желаемом месте (перед укрепляемым берегом или по оси руслового сооружения) и

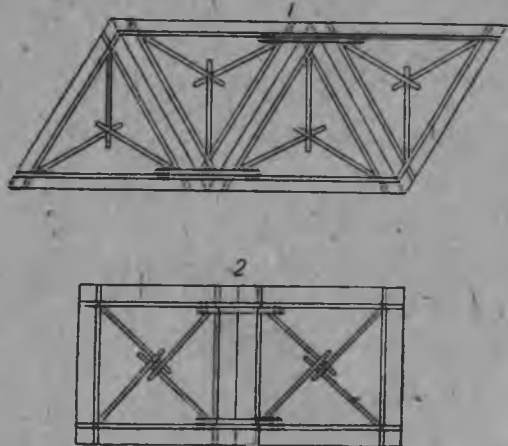


Рис. 177.

перекрывают горизонтальную обвязку поперечными жердями, привязывая их к обвязке и связывая между собой в местах взаимного пересечения. На эту решетку укладывают слой хвороста (рис. 176), толщиной от 1,0 до 1,2 м, связываемого иногда пучками, перекрывают его слоем соломы, а солому загружают камнем слоем от 15 до 30 см. Солома укладывается для того, чтобы предупредить провалы камня. Под действием такой нагрузки и вследствие подмыва течением ноги сипая углубляются в дно, сипай опускается.

Когда кладка начнет погружаться в воду, приступают ко второму ряду такой же кладки и т. д., пока первый ряд не ляжет на дно.

Рядом с первым сипаем ставят второй, который загружается тем же порядком. Горизонтальные обвязки и уложенные на них жерди выпускаются концами так, чтобы промежутки между

сипаями заполнялись ими, так что между сипаями получается решетка, также заполняемая кладкой.

Таким порядком строятся сипаи на любую длину, закрывая берег, к которому они примыкают весьма плотной стенкой (рис. 177). Сипаи можно строить в два ряда и более, т. е. получить сипайную стенку желаемой ширины. При значительной глубине на первый ряд сипаев ставят второй, дополняя его и осаживая в кладку первого по предыдущему.

Установка сипаев в плотную один к другому и кладка их тела производятся быстро. Иногда, для обеспечения сипайных сооружений от подмыва, основания их укрепляются укладкой тяжелых фашин.

Интересно отметить несколько напоминающий сипай тип сооружений для восстановления направления размывших берегов, применяемый на малых тирольских реках и понятный из рис. 178. Этот тип близок к применяемым на наших сплавных реках так называемым кобылкам (рис. 179).

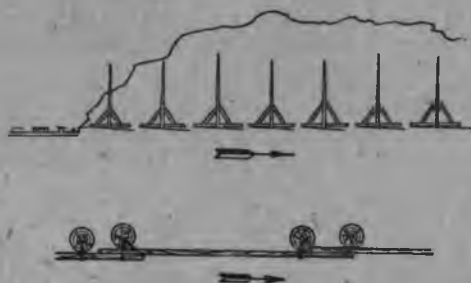
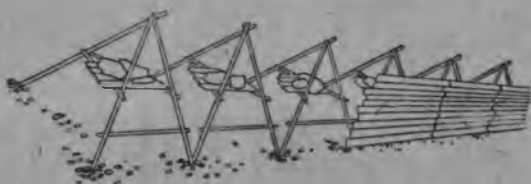


Рис. 178.

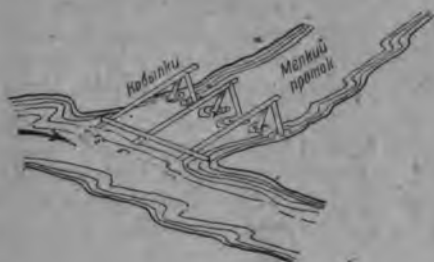


Рис. 179. Кобылки.

§ 46. Сооружения легкого типа

На небольших сравнительно реках укрепление берегов иногда осуществляют двухрядными плетнями, заполняя пространство между ними землей или камнем, если последний находится на месте работ. Плетни ставят

на расстоянии 0,5—1,0 м один от другого и для жесткости соединяют между собой поперечными плетнями.

Такие же двойные плетни применяют и для постройки выправительных сооружений. Если по условиям течения двухрядные плетневые сооружения оказываются слабыми, применяют трех- и четырехрядные (рис. 180), тип которых ясен из рисунка.

Головы плетневых сооружений делают того же поперечного сечения, как и остальные их части. Иногда применяют плетневые сооружения с усиленными головами, как показано на рис. 181,

но такие типы рекомендовать нельзя. При прорыве сооружения и обходе его течением головы, обсыпанные камнем и поэтому довольно массивные, могут явиться, как это показала практика, серьезным препятствием для судоходства. Такого типа сооруже-

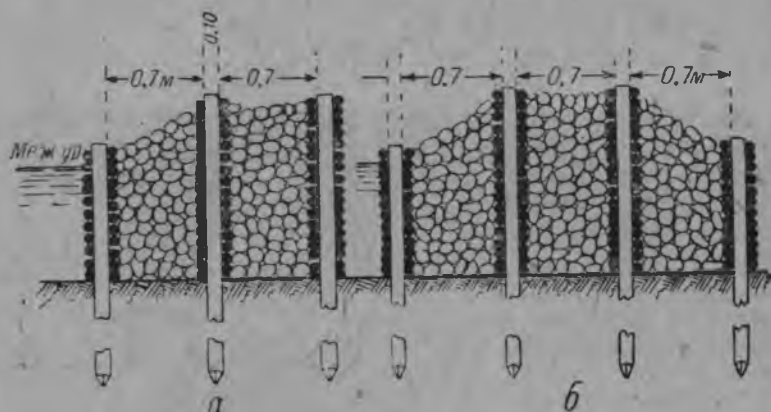


Рис. 180.

ния в прежнее время имели большое распространение на Верхнем Днепре.

Плетни и легкие плетневые сооружения находят применение и при выправлении больших судоходных рек в качестве вспомогательных сооружений при укреплении берегов и заграждений рукавов, главным образом в целях усиления отложенных наносов (наносо-удержатели). Применяются они с этой целью и для закрепления положения мелей.



Рис. 181.

Плетни ставят перпендикулярно к направлению течения в заграждаемых рукавах ниже запруд в нескольких поперечных профилях рукава, а на междубунных полях — между бунами. На отмелях, где течение слабее, их ставят по наиболее пониженным местам. После того, как наносы отложатся и закроют их, ставят новые плетни, пока отмель не достигнет желаемой высоты.

С этой же целью применяются и так называемые древесные заграждения, состоящие в том, что срубленные ветвистые деревья, прямо с листьями, помещают над дном в рукавах или между бунами, как показано на рис. 182. Можно применять их и на мелях.



Рис. 182.

Для ускорения отложений наносов в глубоких русловых вымоях на загражденном рукаве и особенно для ускорения обмеления в глубоких заграждаемых уширениях русла полезно применять густоветвистые деревья, погружаемые в воду рядами, вертикально, в один или несколько рядов поперек заграждаемой площади. Погружают их под воду комлевым обрубом вниз и удерживают в таком положении тяжелыми, привязанными к камню якорями в виде мешков с глиной, камнями и т. п. Подобного рода заградители широко применялись на Дунае, Тиссе, Миссури и других реках¹.

§ 47. Фильтрующие сооружения

Описанный выше тип выправительных сооружений, дамб, бун и запруд относится к общему типу непроницаемых сооружений.

При заграждении рукавов и протоков в качестве сооружений второстепенного значения у нас и в Западной Европе применяются также запруды, проницаемые водой или, иначе, фильтрующие. Это запруды (древесные завесы) и плотины из деревьев, широко применяемые между прочим на наших сплавных путях.

Различают древесные завесы донные и береговые. Первые применяются при заграждении рукавов и протоков, наполненных водой, имеющих „дно“, в течение всего года. Береговые древесные завесы применяются для заграждения протоков и рукавов, заливаемых водой только при уровнях выше низкого меженного, преимущественно во время половодья (с сухим дном).

Донные древесные завесы устраивают из ветвистых деревьев, опуская их на дно заграждаемого рукава по намеченному поперечному профилю с привязанной к комлю тяжестью. (кули с глиной, камни и т. п.). Можно привязывать деревья и за вершины, но так, чтобы они не обламывались. Высота деревьев может быть менее глубины заграждаемого протока.

Деревья размещают на выбранном для заграждения поперечном профиле в один, два или три ряда, причем при глубинах до 1,5 м их принято размещать через 0,50—0,75 м одно от другого, при глубинах больше 1,5 м—через 1,0—1,50 м в зависимости от густоты их кроны и длины ветвей. При заграждениях в два или три ряда каждый ряд отделяется от другого расстоянием в 7—10 м. Чем ниже деревья, тем интервал между рядами делают меньше. Если заграждаемый рукав неглубок, то деревья иногда укладывают в лежащем положении, подвязывая их к сваям, забитым по заграждаемому профилю через 2,0—2,5 м.

Береговые завесы устраивают зимой или в начале весны, т. е. на обсохшем русле. По выбранному для заграждения попе-

¹ Древесные сооружения несколько иных типов или с иными деталями предложены также т. Несмеяновым.

речному профилю забивают через 4—5 м, на глубину до 2 м, ряд свай толщиной 15—20 см с возвышением их над землей на 0,40—0,45 м. Сваи перекрывают насадкой, нарубленной на шипы.

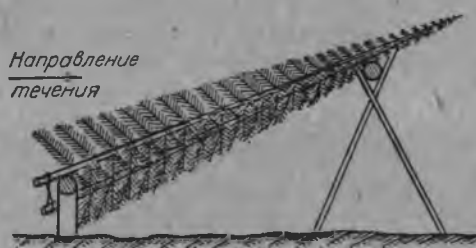


Рис. 183.

К насадке, как к оси, подвязывают попарно, комлями, деревья вершинами по течению, помещая насадку между комлями. Деревья подвязывают через 0,50—0,75 м пара от пары, опирая их вершинами на легкие козла (рис. 183), которые при затоплении выносятся течением высоких вод.

Перед свайным рядом и под насадку укладывают хворост, чтобы предохранить свайный ряд от размыва.

Не останавливаясь на описании древесных заграждений других типов и систем, укажем на весьма интересные опыты при-

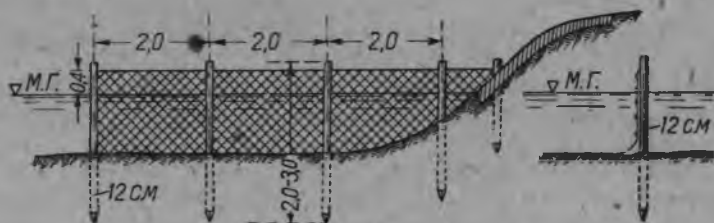


Рис. 184.

менения фильтрующих бун, которые, замедляя скорости течения и вызывая этим отложение наносов, не вызывали заметного отклонения течения.

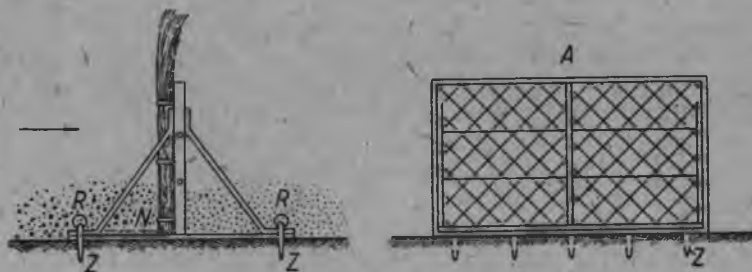


Рис. 185.

На немецких реках произведены были опыты применения проволочно-сетчатых бун (Dratbuhne), устраивавшихся следующим образом.

На месте, назначенном для постройки буны, забивали через 2 м кольца толщиной 12 см на глубину, обеспечивающую их

прочное устойчивое положение. Вершины кольев возвышались над расчетным уровнем на 40 см. К этим кольям (рис. 184) прибавали железную проволочную сетку, выпуская нижний конец ее на дно на ширину около 1,0 м и укрепляя обделку к берегу

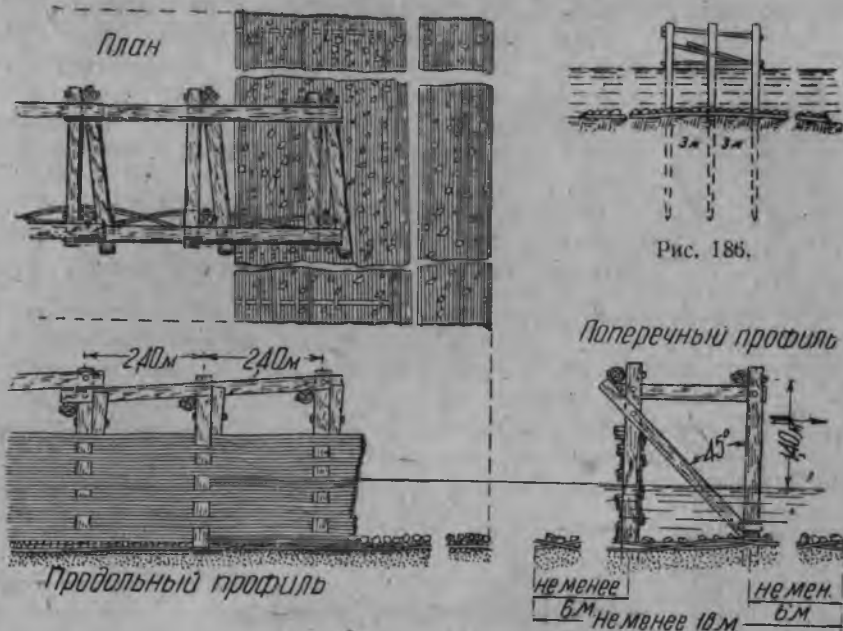


Рис. 187.

камнем или другим способом. Подобные буны вызывали, очень медленное отложение наносов, почему они и не получили распространения.

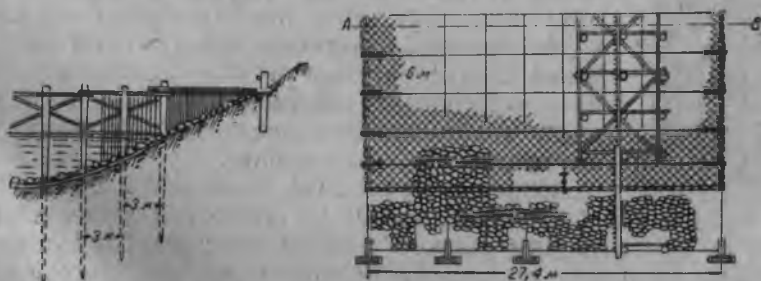


Рис. 188.

Более энергичное отложение наносов вызывали секционные металлические буны Делля (рис. 185).

Секции А закрепляются в грунте ложа реки на металлических подставках зубцами и могут быть извлечены из воды тро-сами или баграми за ушки.

Применялись эти буны при крупных наносах (например, галечных) с металлическими сетками, а при мелких — с одноконтурными легкими фашинами вместо сеток. Для рек с большими сравнительно глубинами секционные буны оказались дорогими и громоздкими, почему также распространения не получили.

При выправлении американских рек применяют как фильтрующие выправительные сооружения — буны, дамбы и запруды, так и нефилтрующие, причем последние в общем мало отличаются от сооружений, применяемых у нас.

Фильтрующие сооружения строятся из деревянных свайных каркасов (рис. 186, 187, 188), которые забиваются в русло через донный рас-

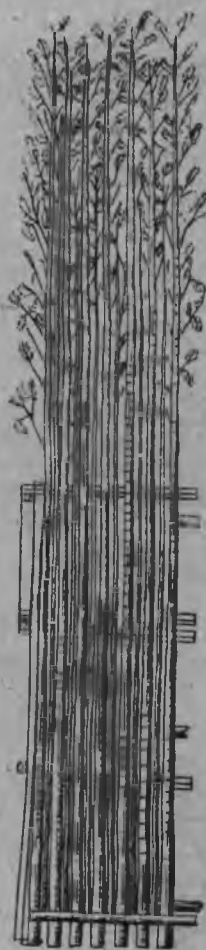


Рис. 190.

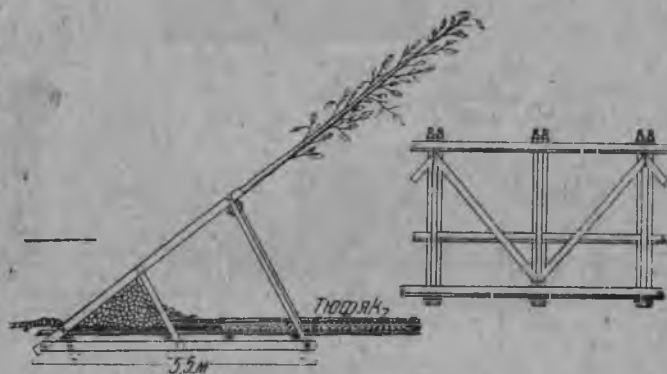


Рис. 189.

стилочный тюфяк и хворостяную сетку, загруженную слоем камня. Каркас делают или из двух или, реже, трех рядов свай (рр. Арканзас и Миссисипи), связанных между собой поперечными полусхватками и подкосами, а иногда и проволочными связями, или из одного ряда свай, соединенных полусхватками и подпертых подкосами (р. Миссисипи).

Передний ряд свай оплетается плетнем.

В зависимости от скорости течения и величины расхода воды в реке фильтрующие сооружения делают, как упоминалось, и из трех рядов свай, причем по среднему ряду (рис. 188, план) ставят близко друг к другу, с небольшими промежутками, тонкие жерди.

При заграждении рукавов и протоков нередко применяют фильтрующие запруды, образованные из трехугольного деревянного каркаса (рис. 189 и 190), на одну сторону которого, наклонную по течению, кладут довольно тесным рядом молодые тонкоствольные деревья, более длинные, чем сторона каркаса.

Здесь сами собой напрашиваются некоторые выводы. Применяя для улучшения судоходных условий рек выправление, мы ведем главным образом борьбу с отложениями наносов, стремясь преобразовать характер течений таким образом, чтобы эти наносные отложения распределялись в русле возможно более благоприятно для судоходства.

В большинстве случаев нам приходится, изменяя направление течения, одновременно стремиться к тому, чтобы наносы, переносимые потоками, не попадали вместе с отклоняемым течением в пределы выправительной трассы. Применяя нефилтрующие сооружения, этой задачи мы вполне разрешить не можем.

Естественно поэтому приходит мысль, что не всегда нефилтрующие сооружения целесообразны. В тех случаях, когда нет надобности вносить в направление течений большого изменения, представляется целесообразным применять сооружения, главным образом задерживающие наносы или направляющие их в сторону от трассы. Такому назначению могут соответствовать филтрующие сооружения, применяющиеся уже давно и с успехом при выправлении рек Америки, но, конечно, сконструированные в соответствии с условиями быта наших рек. Само собой разумеется, что к применению их следует подходить с известной осторожностью, предварительно ознакомившись с их действием лабораторным путем¹.

¹ Подобные филтрующие сооружения были предложены автором для р. Аму-Дарья у Чарджуя, где они и были применены с хорошими результатами.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВЫПРАВЛЕНИЯ

§ 48. Соединение дополнительного питания рек в межень с выправлением

В последнее время при разработке проектов улучшения судоходных условий рек выправлением в помощь выправлению начали применять дополнительное питание, а отсюда логически возникло предположение о комбинированном применении допол-

нительного питания рек совместно с выправлением. У нас дополнительное питание с целью помочь выправлению было еще в сороковых годах прошлого века применено на Верхней Волге, где было устроено Верхневолжское водохранилище (так называемый бейшлот). На некоторых из перекатов и при дополнительном питании глубина в межень все же падала до 30—35 см. Это объясняется тем, что выправление производилось по принципу стеснения русла и поэтому цели своей не достигало, хотя на первых порах и сопровождалось углублением перекатов. Значительно более успешно дополнительное питание было применено в помощь выправлению при выправлении рр. Везера, Одера и Эльбы в Германии.



Рис. 191.

Работы на р. Везере¹, начатые в 1911—1912 гг., были закончены уже после империалистической войны 1914—1917 гг.

Р. Везер образуется слиянием (рис. 191) у г. Мюндена рр. Варры и Фульды. Хотя от Мюндена и до устья (Бремен), на протяжении 367 км, судоходные условия Везера были уже улучшены выправлением, все же глубина на некоторых перекатах в межень падала на верхней части реки до 0,65 м, а на нижней — до 1,0 м. Такая глубина не могла удовлетворять судоходство, почему решено было частью дополнить систему выправительных сооружений, а частью перестроить в целях получения глубины на верхней половине Везера не менее 0,75 м, а на

¹ Cours de navigation intérieure Prof. Fourrey. Paris, 1929.

нижней—1,70 м. Вместе с тем решено было также воспользоваться двумя водохранилищами—одним, построенным выше Мюндена на р. Эдере, и другим—ниже Мюндена, на притоке Везера р. Дизмель, общей емкостью в 190 млн. м³.

Попусками до 60 м³/сек из этих водохранилищ предполагалось получить около Мюндена глубину в 110 см с постепенным увеличением ее к Бремену до 175 см, т. е. достичь увеличения глубины, по сравнению с намеченной выправлением, от 5 до 35 см.

Следует заметить, что оба эти водохранилища должны были также служить для питания Среднегерманского канала, пересекавшего р. Везер у Мюндена, затем для регулирования стока высоких вод и для гидроэлектрической станции.

Дополнительные работы по выправлению Везера были выполнены, но, совместно с попусками из водохранилищ, намеченной цели они все же не достигли.

На участке ниже Мюндена, например, глубина в 110 см не достигалась в течение 150 дней; она держалась ниже, так как водный запас в водохранилищах оказался недостаточным.

Необходимо было усилить дополнительное питание, т. е. строить новое водохранилище, но это встречало препятствия по местным условиям. Разрешился ли этот вопрос благоприятно в дальнейшем, сведений, к сожалению, не имеется.

Подобного же рода затруднения встретились на рр. Эльбе и Одере.

Таким образом законченного опыта применения дополнительного питания к выправлению мы пока не имеем, так как в других странах подобного рода работы только намечаются.

Не осуществлено на практике и комплексное применение выправления с дополнительным питанием. Вопрос этот весьма сложен, так как регулирование стока может быть весьма разнообразным по объему и месту зарегулированных масс воды.

Прежде всего при комплексном применении выправления с дополнительным питанием приходится говорить об улучшении судоходных качеств не одного отдельного переката или группы перекатов, а об улучшении целого участка, вернее, части реки, отличающейся по своим бытовым свойствам от другой части, расположенной рядом.

Наиболее простым разрешением вопроса на такой, гидравлически несколько обособленной, части реки является увеличение низкого меженного расхода воды до расхода при средневысоких меженных уровнях с неполным зарегулированием стока высоких вод и с расположением водохранилищ по периферии основной реки, на ее притоках.

При такой постановке комплексного улучшения судоходных условий реки на ней будет поддерживаться в межень постоянный средневысокий меженный уровень воды.

Мы знаем, что при таком уровне на реках держатся хорошие глубины и возможно, что внутренние течения слагаются

при этом более благоприятно для поддержания таких глубин в устойчивом положении. Выправительные работы могут тогда свестись к укреплению берегов и к урегулированию течения при разделении русла на рукава.

Особое внимание при рассматриваемом комплексном способе улучшения судоходных условий рек должно быть обращено на правильное размещение водохранилищ и на размер их попусков. Равномерность расхода должна поддерживаться бесперебойно, чтобы благоприятное соотношение между скоростями течения и глубинами, которое устанавливается при средневысоких межених уровнях, не нарушалось. В противном случае могут коренным образом измениться и условия образования внутренних течений, что повлечет нежелательное отложение наносов и появление перекатов, т. е. обмеление судового хода.

Не останавливаясь на других возможных вариантах регулирования стока, как выходящих за пределы курса, следует отметить, что комплексное применение выправления и дополнительного питания — дело новое, недостаточно еще освещенное практикой и требующее поэтому осторожного и углубленного подхода с обязательной лабораторной проработкой принимаемых решений. Не следует упускать из виду, что удовлетворение запросов энергетического использования водохранилищ и требований судоходства очень часто противоречат одно другому.

На применении выправления в комплексе с ирригационными работами мы не останавливаемся, так как это входит в курсы ирригации.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТОИМОСТИ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 49. Стоимость выправительных сооружений

Стоимость выправительных сооружений в зависимости от местных условий, определяющих цены на материалы, колеблется для различных районов сравнительно в широких пределах. Большое влияние на стоимость работ оказывает большая или меньшая отдаленность от них мест заготовки материалов, способы доставки, сезон работ (лето или зима), уровень рабочего горизонта реки и т. д.

Поэтому не только для отдельных бассейнов рек, но нередко и для отдельных участков одной и той же реки единичные цены выправительных сооружений бывают различны.

Для ориентировки приведем цены на основные работы для Нижней Волги в районе Саратова.

В 1934 г. на саратовских работах в зимнее время укладка подводного хворостяного тюфяка толщиной 0,46 м с загрузкой его камнем слоем в 0,15 м обходилась в 17 р. 36 к. за 1 кв. метр.

Такая же работа, но летом, стоила около 12 р. 50 к. за 1 кв. метр.

Тюфяк толщиной в 0,36 м с загрузкой камнем слоем 0,15 м стоил около 12 р. 90 к. за 1 кв. метр.

Укладка надводных тюфяков толщиной 0,36 м с загрузкой слоем камня в 0,15 м зимой стоила 8 р. 90 к. за 1 кв. метр.

Куб. метр каменной отсыпи наброской стоил, при работах летом, от 34 до 36 руб. Укладка тюфячного хворостяного покрывала толщиной 0,26 м с загрузкой слоем камня в 0,05 м в 1933 г. стоила около 5 р. 81 к.

Посадка тальника в шахматном порядке по пучку на каждый кв. метр стоила за гектар около 3214 руб.

Установить среднюю стоимость выправления на километр пути в наших условиях, когда выправление мало развито и улучшаются только отдельные перекаты, не представляется возможным. Эти цифры не будут показательными, тем более, что выправление каждого переката не может быть подведено даже под средний тип ни по числу, ни по роду сооружений. На одном перекате их может быть много, на другом — только береговые укрепления.

В частности можно отметить, что укрепление сильно размываемого берега в подводной части хворостяными тюфяками,

а в надводной — двойной мостовой может стоять около 1000 руб. за 1 пог. м. Обращаясь к немецкой практике, где выправлены целые реки, мы находим определенные данные стоимости выправления 1 км пути. Для таких рек, как Рейн, Везер, Эльба и Одер, эта стоимость в довоенных рублях колеблется в среднем от 120 до 150 тыс. руб.



ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

(кроме упомянутых в тексте)

- К. Акулов, Выправительные работы на Днепре, 1914.
Л. Берг, Основы климатологии, 1927.
М. Великанов, Гидрология суши, 1925.
Е. Водарский, Берегоукрепительные сооружения, 1934.
Е. Водарский, Выправительные работы на Рейне, 1913.
В. Ганкевич, Габиионы Пальвиса, 1922.
В. Глушков, Исследование наносов в дельте р. Волги, 1924.
В. Глушков, Один из способов изучения движения наносов, 1910.
В. Гончаров, О взвешивании наносов, 1933.
Б. Кандиба, Внутренние водяные сообщения, 1922.
Б. Кандиба, Регулирование рек, 1927.
Н. Лелявский, О речных течениях и формировании речного русла, 1893.
Н. Лелявский, Об углублении наших больших рек, 1904.
В. Лохтин, О механизации речного русла, 1897.
А. Лосиевский, Лабораторные исследования процесса образования перекатов, 1934.
Е. Оппоков, Режим речного стока в бассейне Верхнего Днепра, 1934.
Е. Оппоков, Некоторые проблемы в области гидроравнинных речных бассейнов, 1925.
Н. Пузыревский, Движение речного наноса, 1904.
Л. Тышка, Об улучшении судоходных условий рек с подвижным дном применительно к Висле.
Труды по вопросу о донном льде и ледовом режиме рек — Альтберга, Бидина, Владимирова, Лохтина и Ционглинского и ряд других трудов по гидрологии и гидравлике на русском языке.
E. Beyerhaus, Der Rhein v. Strassburg bis z. Holl. Greuze, 1902.
L. Fargue, La forme du lit des rivières à fond mobile, Paris, 1908.
M. Fourrey, Cours de navigation intérieure, Paris, 1929.
L. Franzius, Die Korrektion d. Unter-Weser.

Редактор В. Бородин

Техн. редактор М. Зильберборт

Уполн. Главлита В-52044.

ОГИЗ 3607.

Т. 22.

Зак. тип. № 857.

Тираж 2000 экз. Разм. бум. 62×94¹/₁₆.

17 п. л.

19,4 у.-а. л.

48620 зн. в п. л.

Сдано в набор 2/VIII 1936 г.

Подписано в печать 20/XII 1936 г.

Цена 2 руб. 90 коп. Переплет 1 руб. 25 коп.

2-я типография ОГИЗа РСФСР треста „Полиграфкнига“ „Печатный Двор“
им. А. М. Горького. Ленинград, Гатчинская, 26.

