

УДК 551.417(47:282.4)

С. Л. ВЕНДРОВ, В. А. КЛЮЕВА

**ДЕФОРМАЦИИ БЕРЕГОВ И ДНА
ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА ДВАДЦАТЬ ЛЕТ**

На основе сопоставления данных исследований 1951—1952 и 1970—1971 гг., с учетом материалов изысканий в промежуточные годы, характеризуется деформация берегов и дна водохранилища, дается оценка конкретных прогнозов и ряда общих, выходящих за региональные рамки (в том числе теоретических) положений, которые были высказаны до образования и в первые годы существования Цимлянского водохранилища.

Цимлянское водохранилище, заполнение водой которого было начато зимой 1951—1952 г.,— первое крупное равнинное водохранилище из числа созданных после Великой Отечественной войны на юге Европейской части страны. Естественно, что с первых лет своего существования и до настоящего времени оно привлекает к себе внимание исследователей самых различных специальностей, в том числе и по вопросам режима берегов и дна. Этому способствует не только время его создания и размеры (площадь зеркала при нормальном подпорном уровне 2700 км², объем полный 23,85 км³, полезный 11,50 км³), но и следующие обстоятельства.

1. В отличие от водохранилищ сезонного регулирования стока Волжского и Днепровского каскадов Цимлянское водохранилище позволяет осуществлять многолетнее регулирование. Это означает, что его ежегодное наполнение весенними водами происходит до различных отметок (в зависимости от водности года). Поэтому сезонные циклы деформации берега не всегда накладываются в своем вертикальном разрезе один на другой, а могут проходить на разных высотах, что должно усложнить процесс выработки более или менее стабильных берегов и увеличить время (число лет), необходимое для этого.

2. Берега Цимлянского водохранилища сложены преимущественно рыхлыми породами, в том числе лёссами.

3. Использование водных ресурсов Цимлянского водохранилища на разных этапах существенно отличалось в связи с развитием орошаемого земледелия. Соответственно менялись объемы и направления расходования воды, а значит и режим уровня в безледный период, что сказывалось на динамике процессов деформации берегов, а частично и дна водоема.

Еще до заполнения водохранилища и в первые годы его существования большие изыскательские работы в пределах его чаши и берегов были выполнены Гипроречтранс (руководитель С. Л. Вендров). Это позволило создать надежную геодезическую основу для наблюдений за деформацией дна и берегов, за элементами режима водохранилища¹.

¹ Применение в то время в качестве новой техники речных эхолотов, радиогеодезических методов обоснования гидрографических промеров больших акваторий, аэрофотосъемки берегов, меченных люминофорами песков движущихся вдольбереговых потоков, а также хорошо (для того времени) фиксированные береговые магистрали, полигонометрические пункты, маяки и высотные реперы — делали полученные материалы полезными для решения различных задач.

За истекшие двадцать лет на Цимлянском водохранилище производили исследования динамики берегов (частично и дна) Цимлянская обсерватория УГМС (П. П. Кокоулин, Е. Ф. Семенов, Б. И. Ивенко, С. А. Лопухин и др.), Ростовский университет (Д. Г. Панов, В. А. Ключева, Т. А. Смагина и др.), Институт географии АН СССР (Ю. М. Кашин, К. О. Ланге). Некоторые наблюдения были проведены также Гос. гидрологическим институтом (руководитель Н. Е. Кондратьев), Лабораторией гидрогеологических проблем (ныне ПНИИС, рук. Е. Г. Качугин). Русловые процессы в нижнем бьефе изучались Бассейновым управлением пути МРФ (А. С. Серебряков), Центральным институтом экономики и эксплуатации водного транспорта МРФ совместно с географическим факультетом МГУ (Н. И. Маккавеев, Б. Г. Федоров), Донской устьевой станцией УГМС и Азовским институтом рыбного хозяйства (А. М. Бронфман) и другими лицами и организациями.

В связи с дальнейшим развитием орошаемого земледелия на Северном Кавказе и в Задонье Южгипроводхоз поручил в 1970 г. Ростовскому университету провести новые наблюдения на берегах, частично и на дне Цимлянского водохранилища, зафиксировать их современное состояние и дать новый прогноз их дальнейшего развития. Интересующие ТОжгипроводхоз участки береговой полосы совпали с районами работ, выполненных Гипроречтрансом двадцать лет тому назад в глубоководной и средней зонах водохранилища.

Поэтому для выполнения новых работ РГУ (руководитель В. А. Ключева, научный консультант С. Л. Вендров ИГАН) и получения сравнительных материалов были использованы помимо опубликованных данных фондовые материалы Гипроречтранса. Тем самым была обеспечена сравнимость материалов, вытекающая из общности методики, приборов, планово-высотного обоснования.

В настоящей статье авторы попытались дать некоторые сопоставления, оценить достоверность ранее сделанных обобщений (предложений) общего порядка и прогнозов.

Предложенное ранее (Вендров, 1955; 1959а; 1959б) деление крупных равнинных водохранилищ на зоны по условиям гидродинамического режима и активности преобразования рельефа берегов и дна на Цимлянском водохранилище выражено весьма отчетливо.

В глубоководной зоне, которая на Цимлянском водохранилище протягивается от плотины до хут. Кривской и станицы Нагавская на южном берегу и несколько западнее хут. Комаров на северном берегу (рисунок) интенсивность береговых деформаций, как и предполагалось — наибольшая. На высоких обрывистых склонах, в особенности на крутых изгибах береговой линии, несмотря на двадцатилетний период существования водоема, затухания абразии почти не наблюдается. Величина размыва берегов на ряде участков превысила 200 м, а средние значения отступления бровки коренного берега за безледный период года еще велики, в 1970—1971 гг. они составляли 6—10 м.

Обрушение берегов привело к заметному спрямлению береговой линии (за счет срезки мысов на 130—150 м и полного заполнения наносами малых заливов) и к увеличению площади водного зеркала в приплотинной части водохранилища ориентировочно на 7—10%. В ряде случаев возросли длина разгонов и глубина для прохождения волн и активизировалась волновая абразия. Увеличение площади водного зеркала соответственно увеличивает потери на испарение и должно учитываться в расчетах водного и водохозяйственного балансов (Вендров, 1970).

Сопоставление темпов отступления бровки в отдельные годы позволяет утвердить ранее сделанное предположение (Вендров, 1966), что активная деформация берегов глубоководной (приплотинной) зоны Цимлянского водохранилища связана в немалой степени с неодинаковым наполнением водохранилища в разные годы (многолетнее регулирова-

ние, низкие уровни в маловодные годы и частая форсировка, т. е. превышение нормального подпорного уровня в годы многоводные — в энергетических целях). Тем самым подтверждается ведущая роль режима уровней в процессе береговой абразии и необходимость считаться с этим обстоятельством при разработке правил эксплуатации водохранилищ.

Среди процессов преобразования дна в приплотинной зоне преобладает аккумуляция продуктов абразии берегов, которые накапливаются главным образом в прибрежных отмелях, но в немалой степени, как и предполагалось в начальной стадии исследований (Вендров, 1953; 1957), выносятся ветроволновыми течениями в центральную часть водоема и

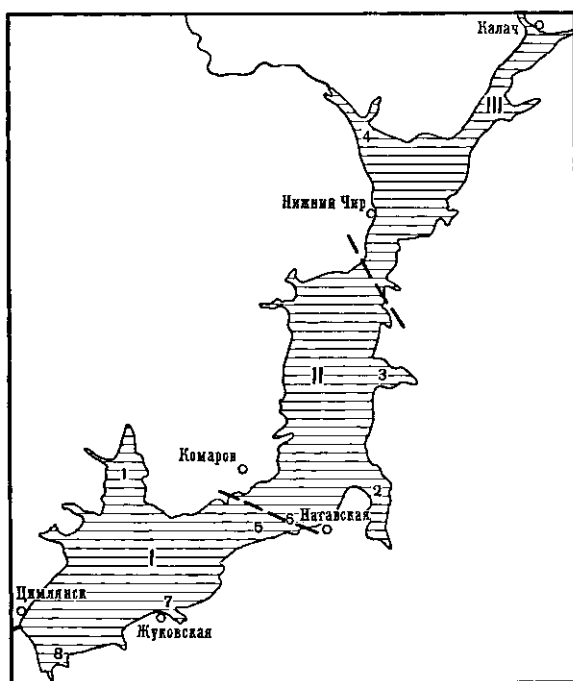


Схема Цимлянского водохранилища.

I — приплотинная зона; II — зона средних глубин; III — верхняя зона; 1 — Цимлянский залив; 2 — Красноярский залив; 3 — Убежище Чаусы; 4 — Чирский залив; 5 — Кривской залив; 6 — Натавский залив; 7 — Жуковский залив; 8 — Мокросоленовский залив

откладываются в депрессиях рельефа дна: затопленном основном русле Дона, протоках, ериках, пойменных озерах. Активное развитие аккумуляции в этой зоне выразилось в уменьшении глубин. Так, по данным 1952 г., наибольшая глубина от НПУ составляла 35 ж, а согласно лоциям 1968—1970 гг. (Клюева, 1968; 1970) максимальные глубины в этой зоне не превышают 28 м. Характер аккумуляции осадков в приплотинной зоне освещает сопоставление за ряд лет карт грунтовых съемок, выполненных Цимлянской обсерваторией и Ростовским университетом (Клюева, 1969; Довженко и Дубровский, 1971). Сравнение карт за 1956, 1964, 1966, 1968 и 1970 годы показало, что происходит непрерывное увеличение высоты слоя илов в депрессиях от 3 см в 1956 г. до 1,5—2,0 и более метров в 1970 г. Наряду с изменением мощности илов по мере заполнения депрессий появляются илистые наносы и на более ровных поверхностях поймы и первой надпойменной террасы. Такие предположения высказывались и ранее (Вендров, 1959, 1970; Клюева, 1969), но подтверждений не имели.

Зона средних глубин, располагающаяся на Цимлянском водохранилище от хут. Кривского до хут. Рычков, как и предполагалось, развивается существенно иначе. Процессы абразии берегов в настоящее время практически прекратились в связи с образованием достаточно широких (более 100 м) аккумулятивных и абразионно-аккумулятивных под-

годных отмелей. Это вызвано тем, что при низких уровнях воды мористые подходы к берегам становятся мелководными и волнение уже не разрушает (как это имеет место в глубоководной зоне) защитную отмель, сформировавшуюся во время волновой абразии при более высоких уровнях воды.

Первостепенное значение имеет волновое нивелирование дна — своего рода подводная абразия, что связано с взаимодействием волн с дном благодаря преобладанию мелководий во второй половине навигационного периода при снижении уровня. В первую очередь размываются положительные элементы рельефа (гряды и прирусловые валы вдоль затопленного-меженного русла и стариц, останцы и т. п.). Аккумуляция донных отложений происходит в депрессиях рельефа. По данным грунтовых съемок 1970 г., мощности наносов в руслах рек превысили (иногда намного) 2 м. Преобладающая часть площади дна в зоне средних глубин носит следы размыва поверхности волнами: наблюдается смыв затопленной кустарниковой и дерновой растительности, разрушение почвенного горизонта на пойме, битая ракуша и слабоокатанные почвенные агрегаты. Аналогичные процессы наблюдались и на Куйбышевском водохранилище (Широков, 1964).

В верхней зоне водохранилища (от хут. Рычкова до г. Калача) в течение большей части года преобладают почти речные русловые условия; развитие абразии происходит только на двух участках; у Рычковского моста и у ст. Пятиизбянской, где в результате воздействия волн на высокие склоны образовались денудационно-абразионные берега.

В динамических процессах, формирующих берега и дно чаши водохранилища, мы в свое время предлагали (Вендров, 1959б, 1966) различать два этапа: деформации по закономерностям неустановившегося режима (направленные изменения господствуют над сезонными колебаниями) и по закономерностям установившегося режима (шаг сезонных колебательных изменений больше годовых направленных изменений, ставших очень медленными).

В трех названных зонах период неустановившегося режима имеет различную продолжительность. В глубоководной зоне интенсивность русловых процессов очень высока еще и на 20-й год существования водоема; весьма вероятно, что длительность периода неустановившегося режима достигнет здесь прогнозированной величины — порядка 40—50 лет или даже превысит ее. В зонах средних глубин и верхней зоне, очевидно, уже в ближайшие годы будут созданы условия, типичные для водоемов с установившимся режимом динамики берегов и дна.

Развитие заливов на Цимлянском водохранилище зависит не столько от того, в какую зону залив впадает, сколько от его формы и размеров, так как первичная морфометрия залива определяет размещение в пределах залива зон абразии и аккумуляции, взаимоотношение залива с открытой частью водохранилища, поставляющей наносы.

Развитие крупных заливов может быть прослежено на примере Цимлянского и Красноярского, которые, хотя и прилегают к разным зонам (глубоководной и средних глубин), отличаются сходством своей морфологии¹ и, как оказалось, имеют общие черты в развитии берегов и дна. Ширина входа в заливы 6—8 км, максимальные глубины приурочены к руслам затопленных рек и составляют 10—12 м, средние находятся в пределах 4—6 м, у коренных берегов расположены мелководья с глубинами 1—3 м. Для обоих заливов типично слабое развитие аккумуляции наносов и заполнение ими преимущественно русел балок (от 60 см

¹ Сходство это вполне понятно, поскольку при естественном состоянии Дона два его притока — р. Цимла и р. Аксай Курмоярский, в устьевых частях долин которых образованы при заполнении водохранилища эти заливы, впадали в пределах нижнего участка среднего течения реки. Низовья этих долин в значительной мере формировались под воздействием внешних вод самого Дона.

до 2 ж). На большей части дна крупных заливов отмечено чередование зон слабой аккумуляции и слабого размыва. Только на мелководьях у берегов сформированы бенчи в коренных породах. Следовательно, в обоих заливах, как в зоне средних глубин, протекает процесс нивелирования рельефа дна. На примере Цимлянского залива подтвердилось наше предположение, что залив, открывающийся в ту или иную зону, должен быть отнесен по характеру динамики рельефа к зоне следующего порядка. Однако это предположение не оправдалось в Красноярском заливе; он должен быть отнесен к той же зоне средних глубин, в которую открывается.

Иначе происходило развитие наиболее крупного на Цимлянском водохранилище залива — Чирского. Ширина входа в него составляет 20 км, он расположен в зоне средних глубин и сам является довольно мелководным, так как изобата 8 м окаймляет только затопленные русла Дона и Чира. Преобладают глубины 4—6 м, которые при сезонной сработке уменьшаются до 1—3 м, приближаясь, следовательно, к условиям верхней зоны. Широко развита донная абразия, которая деформирует бровки русел, гривы и гряды донской и чирской поймы. Аккумуляция происходит лишь в затопленных руслах Чира и Дона, в искусственных прорезях, созданных для спрямления судового хода. Мощности илов в этих депрессиях рельефа превышают 2 м; по судовому ходу ведется систематическое землечерпание. Ошибочные представления о сплошном чехле наносов большой мощности в Чирском заливе, высказывавшиеся нами в конце 60-х годов (Клюева, 1969), объясняются тем, что при первых грунтовых съемках в заливах недостаточным было общее количество промерных точек, а съемки того времени не полностью учитывали микрорельеф дна залива.

Зависимость средних по величине заливов, ширина входа в которые составляет от 500 до 2000 м, как и заиление крупных, зависит от размеров, формы и ширины входа; влияние перечисленных факторов на характер заиления можно проследить на примере трех заливов приплотинной зоны.

Наиболее просто происходит заполнение наносами сравнительно мелководного и открытого в сторону водохранилища залива, образованного подтоплением устья балки Мокросоленовская (ширина у входа в залив около 1 км, протяженность до 2 км). В связи с тем, что берега в самом заливе и в части водохранилища, примыкающей к заливу, относятся к берегам затопления, продукты абразии местного происхождения отсутствуют. Занесение и заиление его связано с поступлением и аккумуляцией наносов, транспортируемых вдольбереговыми течениями с востока из районов развития активной абразии (Вендров, Лычевко и др., 1957). В результате аккумуляции наносов в устье образован весьма отчетливо выраженный в рельефе подводный бар высотой до 4 м. Слой наносов выше по балке постепенно уменьшается и на расстоянии 1 км уже не превосходит 80—90 см.

Заполнение наносами более крупного Жуковского залива, блокированного с востока полуостровом (ширина входа 2 км, протяженность более 3 км, средние глубины 12 м), происходило иначе. Поскольку полуостров закрывал вход наносам, идущим с востока, заполнение залива было связано главным образом с аккумуляцией продуктов абразии берегов и дна самого залива. Мощность наносов в русле (глубокая затопленная балка) изменяется от 2 до 3 м. На поверхности поймы слой илов меньше — от 1,2 до 1,5 м и постепенно выклинивается вверх по заливу.

Заполнение Кривского залива, занимающего по своей величине промежуточное положение между Жуковским и Мокросоленовским (ширина входа 650 м, протяженность 3 км, глубины до 14 м), шло как за счет местных продуктов — абразии берегов и дна, твердого стока балки, так

и за счет входа наносов из открытой части водохранилища. Многообразие источников поступления материала привело, как и предполагалось (Вендров, 1957), к появлению двух максимумов наносов: в устье наносы из открытой части водохранилища образуют подводный бар, в верхней части — конус выноса балки. Между ними расположена открытая акватория (при низких уровнях это «озеро»). Сходную с Кривским заливом картину заиления и занесения представляет Нагавский залив. В нем удалось проследить не только две зоны аккумуляции, но и уловить различия слагающих аккумулятивные формы наносов: устьевой бар, как и в Кривском заливе, построен серыми тонкозернистыми илами; конус выноса в зоне выклинивания подпора представляет собой чередование тех же серых илов с прослоями почвенных агрегатов (Клюева, 1968, 1969), вынос которых происходит весной при активизации склонового смыва.

Заполнение наносами малых заливов происходит, как и ожидалось, с исключительной быстротой. Самые малые из них были занесены еще в первую навигацию после заполнения водохранилища. Заливы с шириной входа 100—150 м существовали первые 3—4 года; заливы с шириной входа 150—300 м заполнились за 10—12 лет.

Режим зоны выклинивания подпора, которая располагается от Калача до устья р. Иловки, также весьма интересен: здесь сверху вниз по течению наблюдается смена условий дельты условиями, напоминающими предустьевое взморье; эти изменения — не только пространственные, но и временные, по сезонам года в зависимости от притока. В литературе неоднократно высказывались предположения, что зона выклинивания подпора рек явится универсальным фильтром для твердого стока. Представления подобного рода имеют место и в работах Ю. М. Матарзина и др. (1968), которые считают, что на Камских водохранилищах в зоне выклинивания подпора аккумулируется от 60 до 80% твердого стока.

На Цимлянском водохранилище зона выклинивания подпора такой роли аккумулятора наносов не играет. Изучение твердого стока Дона в апреле 1970 г. показало, что более 50% взвешенных наносов в период половодья транзитом проходит не только зону выклинивания подпора, но и верхнюю зону водохранилища. В период 16—17 и 24—25 апреля в устье р. Иловки значение мутности было 430—860 г/л*, а в районе хут. Рычков, т. е. у нижней границы верхней зоны водохранилища 240—410 г/ж³; только после прохождения Нижне-Чирского плеса, т. е. уже в зоне средних глубин, мутность уменьшалась до значений 24—19 г/ж³. Очевидно, что на Цимлянском водохранилище зона выклинивания подпора перехватывает не более половины твердого стока реки (взвешенные наносы). Поэтому здесь он должен играть более заметную роль в балансе наносов водохранилища, чем на Камском водохранилище, хорошо изученном Ю. М. Матарзиным, И. А. Печеркиным и их сотрудниками.

Стратиграфия донных отложений, в особенности в нижних («базальных») слоях, отражающих первые пятилетия существования водохранилища, в целом соответствует нашим прогнозам 1955—1959 гг. В разных зонах и в разных заливах она различна: продукты размыва дна, абразии берегов, оползней, осей и склонового смыва, древесная и кустарниковая крошка, отмерший планктон, современный аллювий, продукты дефляции ближнего и дальнего происхождения, которые играют весьма заметную роль, особенно в периоды пыльных бурь.

Двадцать лет существования Цимлянского водохранилища позволяют заключить, что избранное ранее направление разработки прогнозов формирования берегов и дна и основные предпосылки и обобщения, на базе которых анализируется русловый режим крупных водохранилищ, соответствуют теоретическим и практическим задачам изучения этих процессов.

Формирование берегов и дна Цимлянского водохранилища за первые двадцать лет (1952—1971) дает исключительно богатый материал для широкого использования методов географических аналогий и противопоставлений (с учетом общих закономерностей и местных природных и антропогенных факторов) в целях дальнейшего совершенствования долгосрочных и краткосрочных прогнозов этих процессов на крупных равнинных водохранилищах. Этот материал говорит также о необходимости шире использовать для этих целей, с одной стороны, закономерности динамики морских берегов, а с другой — русловых процессов в устьевых зонах крупных рек.

ЛИТЕРАТУРА

- Вендров С. Л. Об изменениях рельефа прибрежной зоны Цимлянского водохранилища. Ж. Морской и речной флот, № 5, 1953.
- Вендров С. Л. О динамике береговой зоны Цимлянского водохранилища.— Изв. АН СССР. Сер. географ., № 5, 1955.
- Вендров С. Л. Изменения рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952—1956 гг.—Изв. АН СССР. Сер. географ., № 3, 1957.
- Вендров С. Л., Лычевко Б. Ф., Патрикеев В. В., Пекишев К. М. Применение люминофоров при изучении движения песчаных наносов вдоль берегов водохранилищ.— Речной транспорт, № 4, 1957.
- Вендров С. Л. Исследования руслового режима крупных водохранилищ, произведенные Гипроречтранс в 1952—1957 гг.— Тр. III Гидролог, съезда, т. IV. Гидрометеониздат, 1959а.
- Вендров С. Л. Проблемы формирования рельефа чаши (дна и берегов) больших водохранилищ. Материалы II Геоморфолог, совещания. Изд. АН СССР, М., 1959б.
- Вендров С. Л. Динамика берегов крупных водохранилищ в связи с использованием водных ресурсов.— Изв. АН СССР. Сер. географ., № 2, 1966.
- Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем. Гидрометеониздат, 1970.
- Клюева В. А. Основные факторы развития и типы оползней на берегах Цимлянского водохранилища.— Уч. Зап. РГУ, т. 54, вып. 1, Ростов н/Д, 1957.
- Клюева В. А. Динамика абразивно-оползневых берегов Цимлянского водохранилища и ее связь с гидрометеорологическими факторами.— Сб. работ Цимлянской ГМО, вып. 3, Ростов н/Д, 1966.
- Клюева В. А. Генетические типы и динамика берегов Цимлянского водохранилища.— Изв. Всес. геогр. о-ва, т. 100, вып. 2, 1968.
- Клюева В. А. Методика изучения процессов переработки берегов и дна крупных равнинных водохранилищ (на примере Цимлянского).— Тр. совещ. по изучению берегов водохранилищ Сибири. Новосибирск, 1969.
- Клюева В. А. Закономерности распределения и гранулометрический состав донных грунтов Цимлянского водохранилища.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., № 2, 1970.
- Долженко Г. П., Дубровский В. М. Формирование донных отложений в Цимлянском водохранилище.— Сб. работ Цимлянской ГМО, вып. 4, Ростов н/Д, 1971.
- Матарзин Ю. М., Мацкевич И. К., Сорокина Н. Б.— О формировании рельефа дна Камских водохранилищ. Сб. Гидрология и метеорология. Изд. Пермск. ун-та, вып. 3, Пермь, 1968.
- Широков В. М. Условия формирования подводного рельефа Куйбышевского в-ща. Сб. работ Комсомольской ГМО, вып. 3, Куйбышев, 1964.

Институт географии АН СССР
Геолого-географический факультет
Ростовского университета

Поступила в редакцию
5.1.1972

DEFORMATION OF THE BANKS AND THE FLOOR OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR DURING TWENTY YEARS

S. L. VENDROV and V. A. KLUJEVA

Summary

Research data of 1951 and 1952 have been compared with the corresponding data of 1970 and 1971. Besides, some materials for the intermediate years have been taken into account. As a result, the authors worked out characteristics of the deformation of the Reservoir's banks and the floor and made an evaluation of the forecasts and of a number of general (including theoretical) conceptions, which had been suggested before the construction or in the first years of existence of the Tsimlyansk Reservoir.