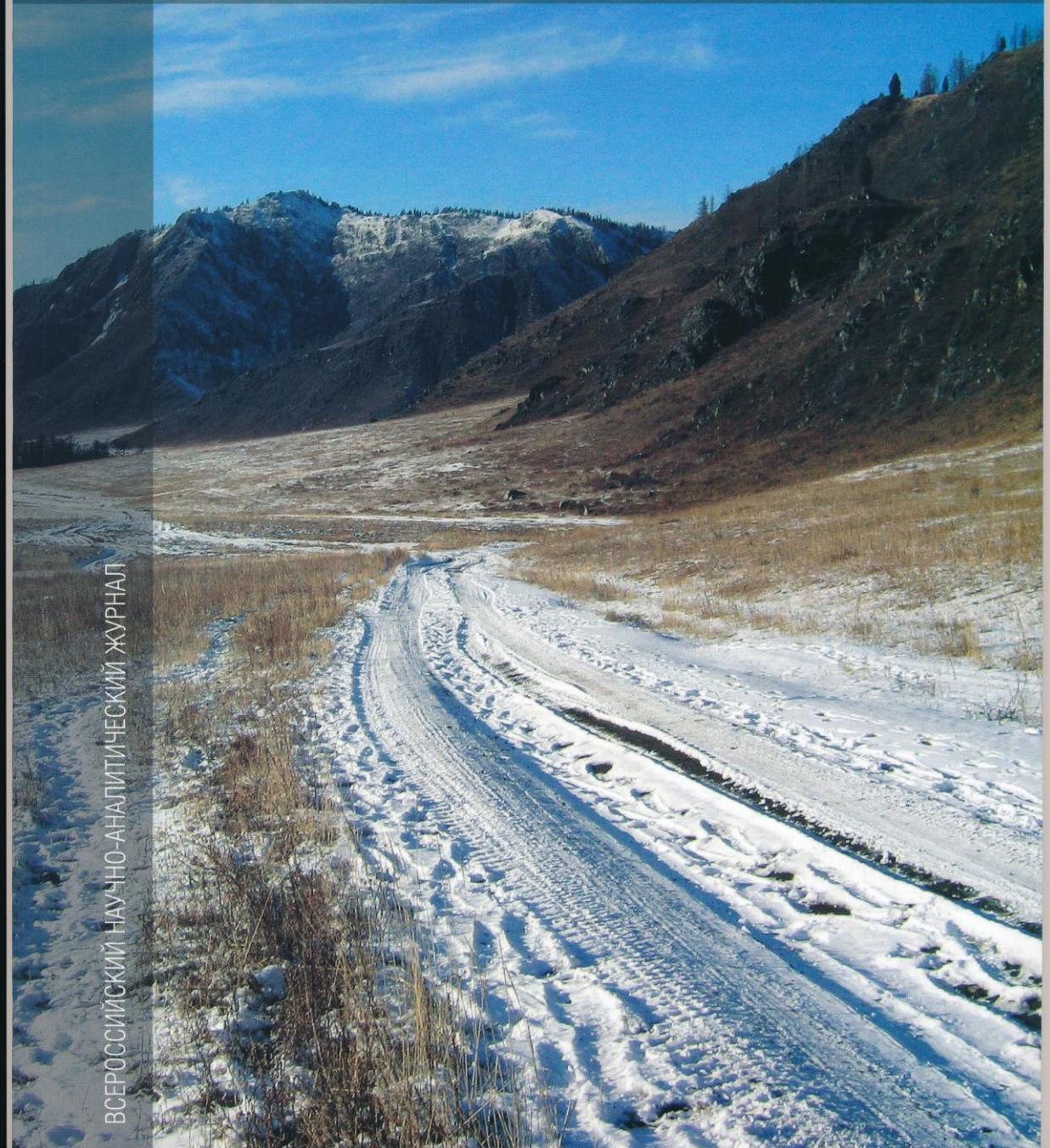


ISSN 1997-8650

# ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

2/2015

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





## ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И РУСЛОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ В МОРСКИХ КАНАЛАХ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО МОРСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА)

HYDROGRAPHICAL, GEOPHYSICAL AND CHANNEL RESEARCH METHODS OF  
ENGINEERING SURVEYS FOR IMPROVEMENT OF NAVIGABILITY IN SEAWAY CANALS  
(BY THE EXAMPLE OF THE VOLGA-CASPIAN SEAWAY CANAL)

### БАБИЧ Д.Б.

Старший научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Гидроэкология-КГС», к.г.н., г. Москва, dmbabich@mail.ru

### ИВАНОВ В.В.

Старший научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, vvi06.56@mail.ru

### КОРОТАЕВ В.Н.

Ведущий научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва, vlaskor@mail.ru

### ПРОНИН А.А.

Научный сотрудник лаборатории гидролокации дна Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, pronin@ocean.ru

### РИМСКИЙ-КОРСАКОВ Н.А.

Заведующий лабораторией гидролокации дна, заместитель директора Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, д.т.н., г. Москва, nrk@ocean.ru

### BABICH D.B.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow, dmbabich@mail.ru

### IVANOV V.V.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow, vvi06.56@mail.ru

### KOROTAEV V.N.

Leading staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), Moscow, vlaskor@mail.ru

### PRONIN A.A.

Staff scientist of the Bottom Hydrolocation Laboratory of the Shirshov Oceanology Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, pronin@ocean.ru

### RIMSKI-KORSAKOV N.A.

Head of the Bottom Hydrolocation Laboratory, deputy director of the Shirshov Oceanology Institute of the Russian Academy of Sciences, DSc (doctor of science in Technics), Moscow, nrk@ocean.ru

**Ключевые слова:** инженерные изыскания; дистанционные методы; дельта Волги; морской канал; русловые деформации; проблемы реконструкции.

**Key words:** engineering surveys; remote sensing methods; Volga River delta; seaway canal; channel deformations; channel reconstruction problems.

**Аннотация:** в статье рассматриваются вопросы применения современных методов экспедиционных исследований при проведении инженерных изысканий для улучшения судоходных условий в морских каналах. Показываются возможные решения некоторых проблем их реконструкции на примере Волго-Каспийского морского судоходного канала в дельте Волги.

**Abstract:** the article considers questions of using modern expeditionary research methods of engineering surveys for improvement of navigability in seaway canals. Possible solutions of some problems of their reconstruction are demonstrated by the example of the Volga-Caspian seaway canal in the Volga River delta.

## Введение

Волго-Каспийский судоходный канал (ВКК) представляет собой реализованную идею создания единой глубоководной магистрали, объединяющей водные пути бассейна р. Волги и Каспийского моря. За почти 140-летнюю историю обустройства Бахтемирского судоходного фарватера (начало сооружения канала относится к 1874 г.) было создано грандиозное гидротехническое сооружение — один из крупнейших морских каналов, не имеющий аналогов в мировой практике регулирования морских устьев рек. В современном состоянии общая протяженность Волго-Каспийского канала от его административного начала в траперзе поселка Бергтопль (в 3 км ниже истока рукава Бахтемир, 21 км ниже пристани № 17 пассажирской пристани Астрахани) составляет около 180 км при средней ширине 100–120 м между проектными изобатами 4,9 м, причем примерно более половины длины канала проложено на открытом взморье [4–12, 14, 22, 24, 26, 31, 34–37].

В 2012 г. авторами статьи по заказу ОАО «Союзморнипроект» была выполнена научно-исследовательская работа по теме «Исследование современного состояния гидрологического и речевого режимов по трассе Волго-Каспийского морского судоходного канала, прогнозная оценка их возможных изменений и практические рекомендации по оптимизации судоходных условий». В последние годы по мере наполнения базы данных фактическими материалами эти работы были продолжены.

В ходе выполнения темы был предложен следующий объем научно-исследовательских работ:

- сбор, систематизация и обобщение гидрологических, гидрографических, топографических и геологических материалов;
- продольный экзотический промер по трассе Волго-Каспийского канала;
- гидролокационное картирование поверхности dna канала;
- сеймоякустическое профилирование dna канала;
- отбор проб донного грунта;
- анализ многолетней изменчивости гидрологических характеристик рукавов Волги и Бахтемир и Волго-Каспийского морского судоходного канала по данным постов Астраханского центра по гидрометеорологии и полевых инженерно-гидрологических изысканий Астраханского комплексного проектно-изыскательского отдела ООО «Союзморнипроект» (АКПИО);

- анализ многолетней изменчивости деформационных процессов в русле рукава Бахтемир и в Волго-Каспийском морском судоходном канале.

В работе использованы материалы наблюдений на станциях и постах государственной гидрометеорологической сети за уровнем моря (Махачкала, 1900–2012 гг.), за стоком воды р. Волги (Верхнее Лебяжье, 1881–2012 гг.), за уровнем воды (Верхнее Лебяжье, Астрахань, Икряное, Оля, Баста, о. Искусственный, о. Тюлений) за период инструментальных наблюдений [2, 3, 33, 37, 38].

Для исследования динамики продольного профиля dna в рукаве Бахтемир и по трассе Волго-Каспийского морского судоходного канала были использованы:

- данные полевых гидрографических и геофизических работ географического факультета МГУ и Института океанологии РАН (1990–2012 гг.);
- карты глубин, составленные службой навигационно-технического обеспечения Морское астраханское пароходство (МАП) (1990–2012 гг.);
- план Волго-Каспийского канала по материалам работ Астраханской комплексной экспедиции института «Каспморнипроект» (1964 г.);
- лотманские карты дельты Волги (1917, 1930, 1979, 2003 гг.);
- материалы буровых работ Астраханского комплексного проектно-изыскательского отдела ОАО «Союзморнипроект».

## Проблемы судоходства на Волго-Каспийском морском судоходном канале

С первых шагов сооружения Волго-Каспийского канала возникла необходимость борьбы с аккумуляцией в нем речных и морских наносов. Эта задача решалась традиционными способами — ежегодным эксплуатационным землечерпанием и ограждением канала дамбами. К настоящему времени транзитная глубина по трассе Волго-Каспийского канала составляет не менее 5 м. Большая часть канала, проходящая по открытому взморью, обвалована песчаными параллельными дамбами и защищена от воздействия ветрового волнения западных и восточных румбов.

Систематическое ежегодное дноуглубление в объеме более 10 млн м<sup>3</sup> за последние 120 лет и естественное врезание русла в условиях снижающегося уровня моря (до 1977 г.) позволили создать такие условия плавания, при которых глубина практически не ограничивала судоходство. Наибольшие за-

труднения периодически возникали на участках русла в рукаве Бахтемир, где исторически сложились зоны аккумуляции речных наносов: на 42–46 км канала (урочище Шкирдовская коса), 51–57 км (Харбайское колено), 62–64 км (п. Оля). Весьма подвижное и динамичное дно с грядовым рельефом в виде песчаных рифелей и дюн периодически наблюдалось в русле канала ниже узла слияния рукава Бахтемир и протоки Бакланья, увеличивающей меженный речной сток Бахтемира примерно вдвое. В XIX веке этим лимитирующим судоходство участкам русла руководства Бахтемир соответствовали так называемые «россыпи» — Княжья, Шадинская и Ракушинская [16, 27, 28].

Недавний подъем уровня Каспийского моря (на 2,35 м с 1978 по 1995 г.) привел к затоплению отмелой «буферной» зоны и увеличению глубин устьевого взморья. Подпор от современной ингрессии Каспия распространился вверх по Волго-Каспийскому каналу и рукаву Бахтемир выше поселка Оля. Следствиями изменившихся гидрологоморфологических условий явились смещение зоны аккумуляции речных наносов (областей формирования внутренних и внешних устьевых баров) и изменение тенденции руслоформирующих процессов [18, 25, 32]. Изменившиеся природные условия формирования дельты Волги (речной сток, уровень моря), строительство нового морского порта в районе поселка Оля и планируемое увеличение объемов транзитных морских грузоперевозок поставили в настоящее время ФГУП «Росморпорт» перед необходимостью пересмотра исторически сложившихся габаритов Волго-Каспийского канала и его реконструкции.

## Методика экспедиционных гидрографических и геофизических изысканий

Для изучения рельефа dna и литологии донных отложений канала использовался комплекс гидролокационной аппаратуры, разработанный в лаборатории гидролокации dna (ЛГД) Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН). Для геодезической привязки гидролокационной информации и мест отбора проб донного грунта использовался дифференциальный GPS-приемник Sigma-G3T производства фирмы Javad, использующий данные спутниковых группировок GPS и ГЛОНАСС. Комплекс гидролокационной аппаратуры включает гидролокатор бокового обзора

ра (ГБО) «Микросаунд» с рабочей частотой 240 кГц, акустический профилограф (АП) АП-5-ИОРАН с рабочей частотой 4,5 кГц, графический самописец «ОКЕАН» и цифровую систему RASTR для сбора и отображения получаемой информации на экране персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) в реальном времени. Работой системы управляет программа «ЭхоГраф» оригинальной разработки ЛГД ИО РАН. Предварительная обработка данных и приведение их виду, удобному для обработки в стандартных пакетах программ, ведется с использованием также оригинальной программы WinRASTR, разработанной ЛГД ИО РАН. Геоморфологическое картирование подводного рельефа с помощью ГБО, непрерывное сейсмоакустическое профилирование с использованием АП и эхолотный промер вдоль фарватера судового хода (с.х.) позволяют в комплексе довольно детально представить современную картину расположения основных форм подводного рельефа и литологию слагающих их грунтов [1, 17, 20, 31].

Грунтовая съемка с отбором поверхностного (5–10 см) слоя наносов производилась синхронно с промером и автономно во время остановок судна при помощи донных щупов.

Динамика рельефа дна канала исследовалась методом сопоставительного анализа результатов разновременных промеров и карт глубин.

#### Результаты исследований

**Морфодинамические типы русла** рукава Бахтемир (речной части Волго-Каспийского канала) и морской части канала, обвалованной дамбами, не отличаются большим разнообразием. Они представлены двумя основными типами — излучинами и относительно прямолинейными неразветвленными участками русла. Излучины занимают 53,3% от общей длины русла. Преобладающее большинство их находится в начальной стадии своего развития. Для них характерны отношение длины по руслу к длине по прямой ( $L/L'$ ) в диапазоне 1,15–1,20 и радиус кривизны 1250–1750 м. Только отдельные крутые излучины, для которых соотношение  $L/L'$  лежит в диапазоне 1,25–1,40, имеют радиус кривизны 500–750 м.

Плановые формы излучин разнообразны — от простых синусоидальных и сегментных до сложных, имеющих сундучную форму. Излучины синусоидальной формы развиты преимущественно на участке, близком к истоку

рукава, тогда как сегментные тяготеют к среднему и нижнему течению. При переходе от одной излучины к другой их разделяют прямолинейные вставки длиной от 500 до 900 м. Сложная излучина сундучной формы — Харбайское колено — расположена на 51–54 км (в районе отхода протоки Талыча) [27].

Относительно прямолинейные русла речной части Волго-Каспийского канала занимают 40,5% от их общей длины. Относительно прямолинейные неразветвленные русла чаще всего встречаются в нижнем течении рукава, после отхода крупных проток и в зоне уменьшения уклона водной поверхности непосредственно при переходе от речной к морской части канала. Протяженность участков с относительно прямолинейным неразветвленным руслом варьирует от 1350 до 9400 м.

В пределах морской части Волго-Каспийского канала (77–152 км) русло имеет в целом прямолинейные очертания.

**Морфология русла** исследована методами картирования подводного рельефа с помощью гидролокатора бокового обзора «Микросаунд», непрерывного сейсмоакустического профилирования с использованием акустического профилографа АП-5-ИОРАН и продольного эхолотного промера глубин вдоль фарватера судового хода по всей трассе Волго-Каспийского морского судоходного канала (0–151 км).

**Речная часть канала** (от истоков рукава Бахтемир до морского края наземной дельты) представляет собой достаточно устойчивый дельтовый рукав р. Волги, формирующий серию излучин и прямолинейных отрезков русла

в так называемой «буровой зоне» дельты. Наиболее характерными особенностями подводного рельефа является наличие серии относительно мелководных перекатов и разделяющих их переуглубленных плесовых лощин. Анализ продольного профиля дна по промерам 1990–2012 гг. показывает, что в пределах речного участка все перекаты и плесы можно объединить в три ступени, различающиеся по минимальным глубинам на гребнях перекатов и по максимальным врезам русла в плесовых лощинах (рис. 1).

Первая ступень подводного рельефа расположена в верховьях рукава Бахтемир (0–10 км ВКК, 18–28 км судового хода по лоции 2003 г., исток рукава — пост № 1). Гребни перекатов расположены на абсолютных отметках минус 40 — минус 41 м в Балтийской системе высот (БС), а плесовые лощины загублены до минус 49 м БС и более. Наиболее характерным процессом для этой части канала за последние 30 лет является углубление гребней перекатов на 2 м и сохранение практически неизменных глубин на плесах. Последнее объясняется близким положением кровли трудноразмываемых морских глин хвалынского возраста к поверхности дна плесовых лощин. Отметки кровли коренных глин колеблются от минус 42 до минус 49 м БС.

Заход в Бахтемир, как и в большинство подобных водотоков в дельте р. Волги, на расстоянии 3–4 км перекрыт песчаными перемычками шириной от 600 до 1800 м с глубиной 5–8 м. Уменьшение ширины русла рукава Бахтемир по сравнению с низовой частью рукава Волга в 2 раза при расходе в межень не

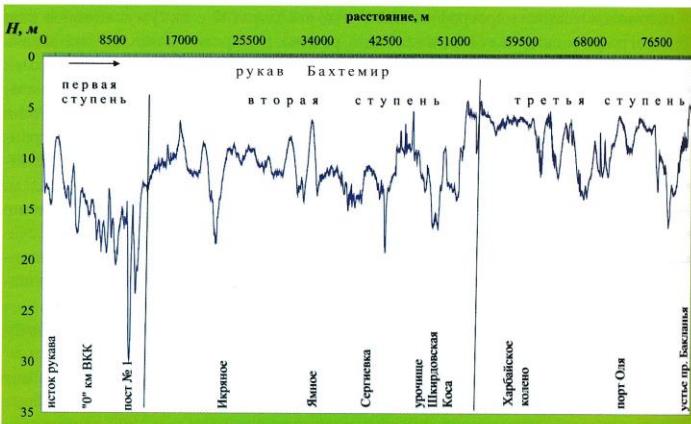


Рис. 1. Морфология дна речной части Волго-Каспийского канала (глубина  $H$  приведена к проектному уровню минус 25 м в Балтийской системе высот)

иц»  
со-  
яв-  
но  
ю-  
по-  
на  
ет,  
ле-  
в  
ни-  
ка-  
а в

фа  
те-  
го  
—  
о-  
ус  
ме  
б-  
и-  
й  
в-  
ов  
е-  
е-  
м  
их  
р-  
и-  
т  
и-  
т-  
т-  
г-  
р-  
а-  
е

менее 2000 м<sup>3</sup>/с приводит к увеличению скоростей течения и смыву мелкогрядового рельефа дна. В этих условиях в слабонизвилистом русле Бахтемира формируются крупные малоподвижные гряды, высота и длина которых постепенно уменьшаются вниз по течению (от 4–6 до 2–3 м и от 2–3 до 0,75–1 км соответственно). На их поверхности в меженный период образуются более подвижные и мелкие рифели и дюны. Мощность песчаных наложений по данным акустического профилирования не превышает 2–4 м. Береговые отмели, как правило, сложены глинистыми отложениями, между которыми по стreichu потока формируются песчаные гряды и рифели (рис. 2). На участках русла, на которых его берега близко подходят к берзовским буграм, подводные отмели резко (до 70 м) сужают зону формирования песчаных гряд. Общей тенденцией этого участка русла Бахтемира является постепенное понижение отметок дна от минус 33 до минус 55 м БС в излучине Бахтемирского колена, где на глубинах 15–28 м вскрываются коренные глины.

Вторая ступень подводного рельефа, сложенная серией перекатов и плесовых лощин, приурочена к участку русла от 10 до 50 км ВКК (28–71 км с.х. по лотии 2003 г., пост № 1 — исток протоки Талыча), где гребни перекатов не поднимаются выше отметки минус 34 м БС, а в плесовых лощинах преобладает глубина минус 42 — минус 46 м БС. Преобладающими формами донного рельефа остаются мелкие гряды, занимающие практически всю ширину русла. На относительно прямолинейном и отмелом участке русла до села Ямное (9–28 км ВКК, 30–49 км с.х.) отмечены небольшие колебания отметок дна на глубине 8–10 м. Здесь развит мелкогрядовый рельеф из дюн длиной до 0,5 км и высотой 1,0–2,5 м, осложняющий поверхность более крупных и редких гряд длиной до 2,0–2,5 км и высотой до 2–5 м.

На участке русла Бахтемира между селами Ямное и Сергиевка (28–37 км ВКК, 49–58 км с.х.), представленном двумя крутыми сопряженными синусоидальными излучинами, наблюдается значительная «контрастность» глубины (от 5 до 15 м) за счет появления глинистых выступов с относительной высотой 5–7 м (рис. 3). На крыльях излучин формируются гряды длиной до 0,5 км и высотой до 1 м, осложненные более мелкими рифелями и дюнами.

Два прямолинейных участка Бахтемира, соединенных синусоидаль-

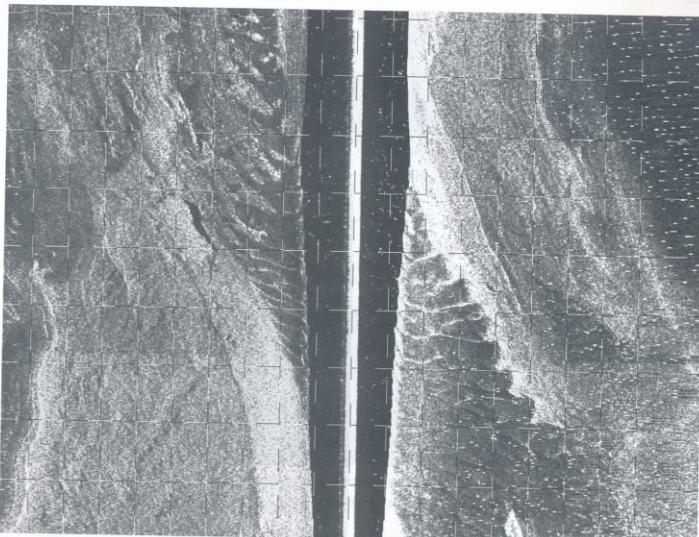


Рис. 2. Гидролокационное изображение песчаных гряд среди глинистых прибрежных отмелей

ной излучиной, представлены очень сложным и разнообразным рельефом дна. Верхний отрезок от урочища Свиная Грива до ерика Маракуша (37–40 км ВКК, 58–61 км с.х.) сложен мелкогрядовым рельефом. Нижний отрезок от села Плес до ильменя Бессчастный представлен частыми глинистыми выступами с относительной высотой 2–4 м. На крупной пологой излучине от ильменя Бессчастный до

истока протоки Талыча (46–50 км ВКК, 67–71 км с.х.) рельеф дна отражает крупные неровности кровли позднеплейстоценовых глин с относительными высотами 6–8 м, между которыми формируется мелкогрядовый рельеф из мелких песков с примесью битой ракушки.

Третья ступень подводного рельефа в речной части канала занимает низовые рукава Бахтемира (50–77 км ВКК,

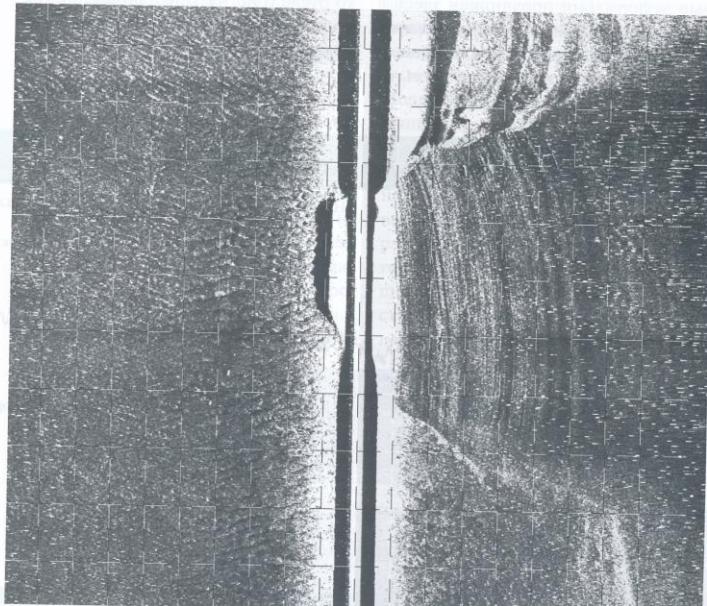


Рис. 3. Гидролокационное изображение глинистого выступа на дне среди мелкогрядового рельефа

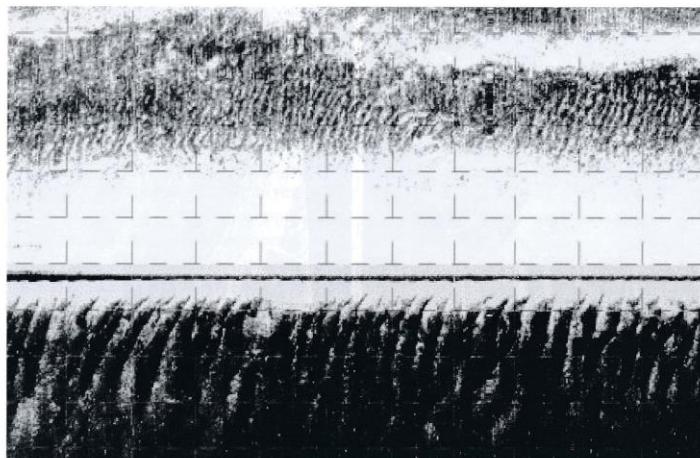


Рис. 4. Гидролокационное изображение песчаных гряд (дюн) и рифелей, распространенных по всей ширине русла на Харбайском участке рукава Бахтемир

51–98 км с.х. по лотии 2003 г., исток протоки Талыча — устье протоки Бакланья) и представлена мощными перекатными участками протяженностью от 4 до 7 км и обширными плесовыми лиющими длиной до 5 км. Гребни перекатов расположены на отметках минус 32 — минус 33 м БС, а дно наиболее глубоких плесов лежит на уровне минус 47 — минус 49 м БС. Грядовые формы рельефа имеют очень хорошую выраженность в виде мелких гряд, занимающих всю ширину русла. Русловые деформации проявились здесь в углублении на 2–4 м гребней перекатов и плесовых лиющин, абсолютные отметки дна которых колеблются здесь от минус 38 до минус 45 м БС.

Харбайский участок рукава Бахтемир от истока протоки Талыча до узла слияния с протокой Подстепок (50–60 км ВКК, 71–81 км с.х.) характеризуется развитым грядовым рельефом на глубинах 5–6 м по всей ширине русла. Преобладают гряды длиной 0,5 км и высотой до 1 м, на поверхности которых формируются подвижные рифели и дюны. Мощность русловых отложений — не менее 4 м. Такой характер руслового рельефа сохраняется на расстоянии 8–10 км почти прямолинейного русла (рис. 4). Восстановление грядового рельефа, параллельного оси потока, связано с преимущественным поступлением в Харбайское колено влечомых наносов. Здесь же, ниже истоков

протоки Талыча и ерика Гаванный, меженные расходы в рукаве Бахтемир составляют не более 500 м<sup>3</sup>/с, а ширина русла не превышает 200 м. В наиболее мелководной части Харбайского участка, в так называемом Харбайском колене (глубиной 3–4 м), сформированном на пологой излучине в районе ответвления от Бахтемира протоки Талыча и ерика Гаванный, для поддержания проектных глубин требуется постоянное дноуглубление. В конце Харбайского участка, в узле слияния Бахтемира с протокой Подстепок, происходит резкое углубление дна до 10–11 м и появление коренных глин.

Ниже устья протоки Подстепок до узла слияния Бахтемира с протокой Баклань (60–77 км ВКК, 81–98 км с.х.) морфология дна пологого извилистого русла опять определяется неровностями кровли коренных отложений. Относительная высота глинистых выступов составляет 4–6 м. Местами развит мелкогрядовый рельеф, протяженность участков которого не превышает 1,5 км из-за явного дефицита донных наносов (в районах Калмыцкого канала, ериков Собачий и Кутенок).

*Морская часть канала* (от морского края наземной дельты до открытого взморья в районе Астраханского рейда) представляет собой искусственно углубленное и удлиненное частично обвалованное продолжение дельтового рукава Бахтемир на мелководном взморье дельты р. Волги. По эхолотным промерам можно выделить пять геоморфологических участков, различающихся по характеру и направленности русловых деформаций и строению рельефа дна (рис. 5).



Рис. 5. Морфология дна морской части Волго-Каспийского канала

ме-  
со-  
ниа  
лее  
ист-  
пле-  
ном  
тв-  
а и  
ро-  
ное  
ого  
а с  
не-  
по-  
до  
кой  
(х.)  
ого  
тя-  
но-  
лов  
ел-  
стъ  
км  
сов  
ков

о-  
го  
да)  
уб-  
ло-  
ава  
ль-  
ам  
че-  
ак-  
ор-  
5).

**Первый участок** (переходная зона от речной перекатной части к морскому каналу; 78–112 км ВКК), непосредственно граничащий с морским краем дельты, характеризуется резким увеличением глубины по сравнению с вышележащим речным участком канала. Глубина по оси судового хода колеблется от минус 36 до минус 39 м БС, локально увеличиваясь до минус 42 — минус 44 м БС. Здесь же происходит резкое понижение кровли коренных глин, которые в пределах первого участка морской части ВКК не выходят на поверхность дна.

К концу участка средняя глубина по фарватеру постепенно уменьшается вниз по течению от минус 39 до минус 36 м БС. В этом же направлении происходит медленное повышение от минус 45 до минус 38 м БС кровли коренных глин, подстилающих русловую аллювию. Мощность руслового аллювия меняется незначительно, колебляясь от 7 до 10 м, лишь в самых глубоких пlesсовых лощинах утончаясь до 3–5 м или сменяясь выходами коренных глин. Грядовый рельеф в русле сохраняется, так как, несмотря на начавшееся растекание речного потока через прораны в защитных дамбах, после втекания протоки Бахтемир расходы воды составляют: 1500 м<sup>3</sup>/с на 80 км ВКК, 1000 м<sup>3</sup>/с на 90 км; 750 м<sup>3</sup>/с на 100 км.

К началу создания морской части Волго-Каспийского канала в устье рукава Бахтемир (путем прорытия землечерпалательной прорези через устьевое мелководье и сооружения надводных насыпных дамб) в зоне сопряжения канала и речного русла ниже 87 км ВКК сформировался *внутренний речной устьевой бар*. По мере удлинения канала и увеличения ширины и высоты ограждающих дамб происходила концентрация речного потока в прорези и увеличение его транспортирующей способности. Следствием этого явилось прогрессирующее смещение положения речного устьевого бара вниз по течению. Так, к 1960-м годам гребень бара располагался уже в пределах 95–105 км ВКК, имея транзитную глубину не менее 5,5 м. За последнее пятилетие, когда в бассейне Волги отмечалась повышенная водность, большая часть гребня бара размылась на глубину 3–5 м и сместилась на 108–115 км ВКК — в район второго геоморфологического участка канала.

**Второй участок канала** (112–124 км ВКК) занимает зону так называемых «шалыг» — весьма подвижных мелких

гряд высотой до 1,5 м и длиной от 10 до 100 м, образующихся ниже проранов в обвалованиях канала, через которые происходит отток части воды на акваторию забровочных пространств устьевого взморья. Гряды предположительно формируются непосредственно на поверхности коренных глин.

К 117 км ВКК в прорези канала при меженьных горизонтах остается не более 500 м<sup>3</sup>/с (при расчетном расходе воды на гидрологическом посту «Верхнее Лебяжье» 7000 м<sup>3</sup>/с). Поступающая через многочисленные прораны (их ширина достигает 2 км) часть речных наносов участвует в формировании региональных микродельт и устьевых баров в устьях микроводотоков таких дельт. Длина микроводотоков в настоящее время составляет 0,5–1,0 км. Другая (транзитная) часть речных наносов, оседая, приводит к формированию широкой (более 1 км) мелководной зоны вдоль забровочных пространств.

**Третий участок** (124–145 км ВКК) морской части канала совпадает с зоной так называемых «ям и суводей», отличающейся частым чередованием глубоких ям (12–20 м) и более мелководных участков русла с глубинами 5–7 м, которые на 1–2 м глубже гребневой части внутреннего речного устьевого бара в зоне «шалыг».

Длина третьего участка составляет 20 км. Местоположение его за последние 35 лет очень стабильно. Однако с 1960 г. произошло заметное углубление мелководных участков на 2–3 м, а локальные переуглубления оказались заполненными на 2–5 м (очевидно, за счет продуктов размыва речного устьевого бара в процессе его смещения вниз по течению).

Гидродинамическая природа образования подобных зон «ям и суводей» пока недостаточноясна. Возможно, на механизм их образования существенное влияние оказывает так называемая «игра уклонов», возникающая в процессе проникновения в эту часть канала вод взморья во время нагонов и спо-

собствующая возникновению водоворотных зон. Следует отметить, что аналогичное явление обнаружено и в Белинско-Каспийском судоходном канале (БКК) ниже навигационного ориентира «12-я Огневка» (22–27 км БКК).

Средние отметки дна канала в этой зоне колеблются от минус 34 до минус 35 м БС, а днища ям опускаются от минус 37 до минус 41 м БС, причем глубина их постепенно уменьшается от верхней границы участка к нижней. Русловые отложения в этой части канала очень незначительны (менее 1 м) и покрывают тонким слоем неровную поверхность коренных глин, которые по данным сейсмического профилирования вскрываются на дне самых глубоких ям.

**Четвертый участок канала** (от 145 до 151 км ВКК) занимает наиболее мелководную его часть в пределах искусственных обвалований. Средняя глубина здесь не опускается ниже отметки минус 33 м БС, а относительная глубина колеблется в пределах 5–6 м. Интенсивное растекание речных вод из прорези через прораны (в основном на правое забровочное пространство взморья) приводит к резкому снижению транспортирующей способности водного потока и интенсивному осаждению наносов. Аккумуляция на этом участке канала способствует также усиливающейся роли волнений из-за ветров восточных румбов, при этом волны ниже острова Искусственный получают возможность свободного разгона по устьевому взморью и нагону вод взморья через прораны в канал. Подпор речных вод в прорези канала выше проранов приводит к появлению очагов местной заносимости.

Гидролокационная съемка русла канала на третьем и четвертом участках выявила довольно однообразный характер подводного рельефа, лишенный грядовых образований (рис. 6). Большая часть неровностей дна носит структурный характер и отражает колебания положения кровли коренных

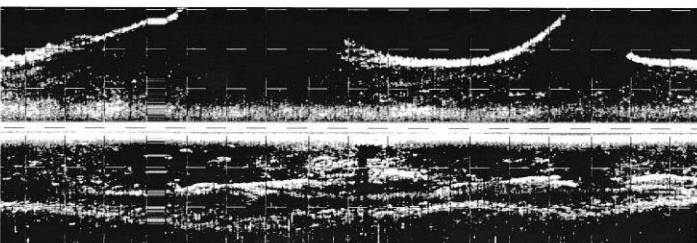


Рис. 6. Гидролокационное изображение относительно ровного илистого dna kanala



торые сильно меняются по длине рукава, а также от геологического строения dna водотока. Так, в местах пересечения рукавом района массового распространения бугров Бэра его дно сложено исключительно морскими глинами или выстилано битой ракушей, вымытой из глин. Грядовый рельеф из мелких песков встречается здесь только в стражневой зоне в полосе до 100 м. Вне «бугровой» зоны на приморском участке дельты (особенно ниже узлов слияния с притоками) речное русло может быть занято грядами, сложенными мелкозернистым песком (со средним диаметром частиц наносов 0,15–0,25 мм), на всю ширину потока. Крупность частиц донных отложений в пределах субазральной дельты редко превышает 0,35 мм. Увеличение их размера до 0,42 мм наблюдается в местах значительного скопления ракушки (от 15 до 42% в плесовых лощинах) и ниже мест впадения крупных притоков (например, протоки Бакланья) (рис. 7).

По данным грунтовой съемки и гидролокационного картирования большинство второстепенных дельтовых рукавов и проток, формирующихся в пределах «бугровой» зоны дельты р. Волги, испытывают дефицит русловых наносов. Как правило, это выражается в широком распространении участков dna, сложенных коренными глинами. Например, протока Шмагина практически на всем протяжении от истока до устья (25 км) лишена рыхлых русловых наносов, а на ее дне вскрываются пластичные глины. В рукаве Кизань, где преобладающими русловыми наносами являются мелкие пески (со средним диаметром частиц наносов 0,17–0,20 мм), от оголовка острова Безымянnyй до узла разветвления на банки Рытый, Кулагинский и Никитинский на протяжении 11 км распространено неровное глинистое дно, лишь местами прикрытое тонким слоем песчаных наносов. В то же время большинство мелких дельтовых водотоков в приморской зоне заполнено илами и алевритами (Бушминский канал, банка Никитинский и др.). Не является исключением в этом отношении и рукав Бахтемир, где участки dna, лишенные русловых наносов, встречаются довольно часто (между селами Плес и Федоровка, от устья протоки Подстепок до устья протоки Бакланья и др.).

Первые достоверные сведения о мощности современного аллювия, заполняющего эрозионные послехвальнистые врезы р. Волги в нижнем течении и в магистральных рукавах в ее дельте,

были получены в результате буровых работ экспедиции Государственного океанографического института под руководством профессора М.В. Кленовой в 1937–1939 гг. По данным 50 буровых скважин наибольшие мощности руслового аллювия (до 21 м) были обнаружены в пониженной центральной части дельтовой равнины, где концентрировался сток палео-Волги. В западной и восточной повышенных частях дельты региональных систем водотоков рукавов Бахтемир, Старая Волга, Кизань и Кигач врезаны в коренные морские верхнехвальнистые отложения на глубину от 5 до 11 м. В приморской зоне дельты р. Волги (за пределами «бугровой» зоны) и на акватории авандельты неровная поверхность хвальнистых отложений расположена на глубине от 7 м в западной, до 18 м в центральной и 13 м в восточной части дельты от поверхности дельтовой равнины. На большей части дельты в пределах «бугровой» зоны позднеплейстоценовые морские отложения выходят на поверхность дельты в виде бересковых бугров, а дельтовые водотоки слабо в них врезаны. За пределами «бугровой» зоны их кровля резко понижается и повсеместно перекрывается голоценовыми аллювиальными и аллювиально-морскими осадками.

В местах пересечения водотоком бересковых бугров мощность русловых отложений в рукаве Бахтемир колеблется от 0,5 м на глубоких плесах до 5–12 м на перекатных участках. На большей части Бахтемирского направления (Астрахань — Бахтемир — Волго-Каспийский канал) наблюдается большая изменчивость положения размытой кровли коренных глин. Ниже морского края наземной дельты прослеживается

тенденция к подъему поверхности кровли глин и уменьшению слоя русловых наносов до 1–2 м. На открытом взморье авандельты мощность слоя современных наносов постепенно увеличивается до 2–4 м [17, 29, 30, 32].

В пределах первой ступени речной части ВКК дно плесов сложено крупным алевритом или глиной (со средним диаметром частиц наносов 0,06 мм), а гребни перекатов — мелкими и средними песками с примесью битой ракушки (со средним диаметром частиц наносов 0,27–0,36 мм). Преобладающей формой донного рельефа на гребнях перекатов являются мелкие гряды. Мощность руслового аллювия (новейших рыхлых отложений) по данным сейсмоакустического профилирования составляет здесь от 4 до 8 м на перекатах и от 0 до 2 м в плесовых лощинах, где местами на дне вскрываются коренные глины.

На второй ступени речной части ВКК дно плесов сложено алевритами, тонкозернистыми песками и глиной (0,06–0,18 мм), а гребни перекатов — мелкозернистыми, мелко-среднезернистыми и среднезернистыми песками (0,22–0,36 мм). Мощность руслового аллювия колеблется от 4 до 8 м на перекатных участках и не превышает 1–2 м в плесовых лощинах. В наиболее глубоких плесах с глубиной более 15 м на дне вскрываются коренные глины. Отметки кровли коренных глин не опускаются ниже минус 44 м БС и не поднимаются выше минус 39 м БС.

Преобладающие русловые отложения на третьей ступени речной части ВКК представлены мелкозернистым песком (0,14–0,20 мм); более крупнозернистые, среднезернистые и мелко-среднезернистые пески встречаются

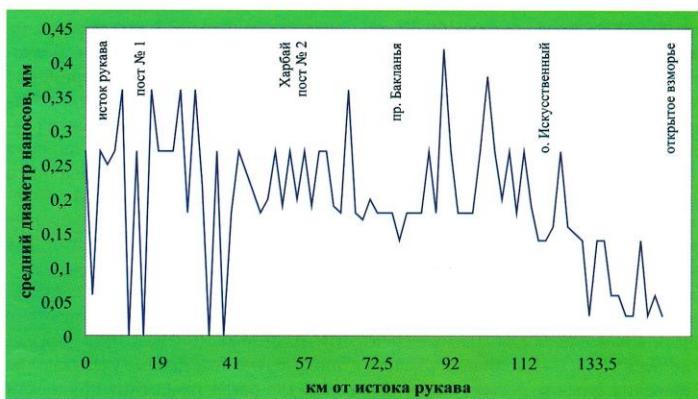


Рис. 7. Изменение среднего диаметра частиц донных наносов по трассе Волго-Каспийского канала

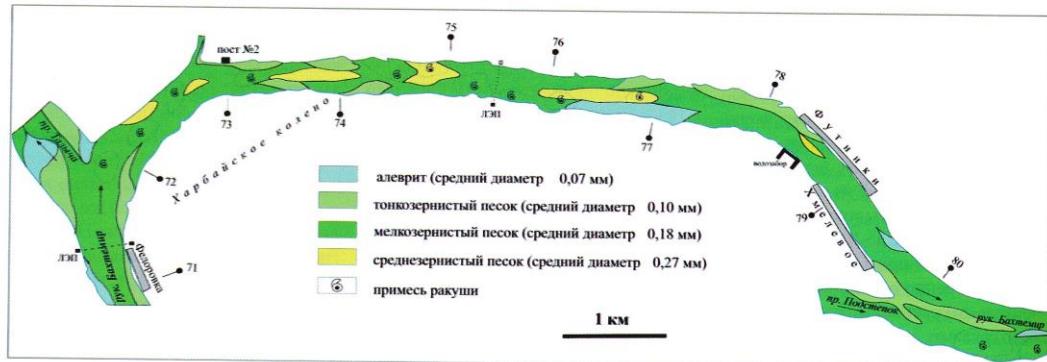


Рис. 8. Грунтовая карта Харбайского колена

крайне редко. Мощность руслового аллювия по данным сейсмопрофилирования колеблется здесь от 4 до 14 м. Как правило, слой речных наносов заметно уменьшается на гребнях перекатов и в плесовых лощинах, однако выходов коренных глин на дне не наблюдается. Положение кровли коренных глин, подстилающих русловую аллювию, отличается большой изменчивостью отметок: в пределах перекатных участков эти отметки колеблются от минус 31 до минус 37 м БС, в плесовых лощинах они опускаются до минус 45 — минус 48 м БС в отличие от положения кровли на двух первых ступенях подводного рельефа.

Довольно детально был исследован Харбайский участок речной части канала, где удалось сделать грунтовую съемку в масштабе 1:25 000 (рис. 8). Руслообразующие наносы представлены здесь песками от пылеватых (0,05–0,10 мм) до среднезернистых (0,20–0,32 мм) с примесью битой ракушки (от 20 до 80%). Наибольшую площадь в пределах Харбайского участка занимают мелкозернистые (69,4% от общей площади участка), тонкозернистые (16,4%), пылеватые (7,7%) и среднезернистые (6,5%) пески. Величина среднего диаметра частиц наносов для всего исследованного участка составляет 0,15 мм. В Харбайском колене наибольшее (на 68,8% площади) распространение имеют мелкозернистые пески (0,12–0,20 мм), среднезернистые пески (0,12–0,20 мм), среднезернистые пески очень мало (2,9%). На прямолинейном отрезке русла от поста № 2 до сел Футники и Вахромеево также значительную площадь занимают мелкие пески (63,3%), площадь распространения средних песков увеличивается до 15,3%. В нижней части Харбайского участка в узле слияния рукава Бахтемир и протоки Подстепок наи-

большую (75,5%) часть площади русла занимают мелкие пески, а доля площади, занятая средними и пылеватыми песками, уменьшается до 0,8 и 2,8% соответственно. Общей тенденцией для Харбайского участка является приуроченность наиболее крупнозернистых русловых наносов (средних и мелких песков) к максимальным глубинам в стрежне речного потока. Прибрежные отмели сложены, как правило, более тонким материалом (алевритом и тонкими песками).

Донные отложения по трассе Волго-Каспийского канала, сооруженного за пределами морского края наземной дельты Волги на акватории устьевого взморья, представлены тонкими песками и алевритами. Подвижные русловые формы здесь образуются редко, но гидролокационной съемкой обнаружены локальные переуглубления дна глубиной 15–20 м (так называемая зона «ям и суворей»). Крупность аллювия меняется в зависимости от рельефа дна: в плесовых лощинах накапливаются тонкозернистые и мелкозернистые (0,14–0,18 мм) пески, а на более мелких участках дна — мелко-среднезернистые и среднезернистые (0,27–0,42 мм). В донных грунтах отмечено большое содержание битой ракушки. Местное укрупнение наносов наблюдается в местах энергичного разрушения дамб обвалования во время штормов и поступления продуктов размыва в прорезь канала (на 140–151 км ВКК).

Для уточнения крупности аллювия проводился непосредственный отбор грунта из поверхностного слоя отложений. Полученные данные указывают на наличие связи изменения крупности частиц донных отложений с поступлением плохо сортированного материала из размываемых пойменных и корен-

ных берегов. Данные механического анализа проб легли в основу дешифрирования гидролокационных изображений, что позволило существенно уточнить ареалы распространения различных донных отложений.

**Сейсмоакустическое профилирование** позволяет уточнить залегание кровли коренных пород при наличии значительной толщи руслового аллювия. Традиционно при проведении инженерно-геологических изысканий в руслах рек применяется бурение с понтона. Высокая стоимость и трудоемкость таких работ приводят к минимизации количества скважин, что при разреженной сетке съемки и неровном залегании кровли коренных пород ведет к искажению литологического строения подстилающих русло пород. Непрерывное сейсмоакустическое профилирование с опорой на буровые скважины позволяет избежать подобных ошибок (рис. 9).

**Метод сопоставления и совмещения** результатов разновременных профилей русла позволил установить основные деформации дна в рукаве Бахтемир и по трассе Волго-Каспийского канала, выявить исторические тенденции их развития и составить прогнозные оценки возможных изменений на ближайшее десятилетие [19].

В пределах разных частей рукава Бахтемир в настоящее время наблюдается типичный для равнинных рек процесс формирования русла с закономерным чередованием зон аккумуляции и размыва. За период 1919–1953 гг. вдоль рукава произошло углубление русла в среднем на 1 м [2, 3]. Довольно четко выделялись три зоны, различавшиеся по характеру русловых деформаций:

- на расстоянии 7 км от истока рука-ва происходило общее обмеление участка и уменьшение глубин на плесах и перекатах на 1–3 м;
- ниже по течению на расстоянии 50 км наблюдалось выравнивание про-дольного профиля и перераспределение русловых отложений: обмеление плесов (глубина до 4 м) и углубление перекатов (глубина 2–3 м);
- в приморской зоне шло общее углубление русла на 2–5 м.

За период 1929–1956 гг. морской край дельты на участке сопряжения рукава Бахтемир с Волго-Каспийским морским судоходным каналом сместился на 20–30 км в сторону моря, где образовалась обширная купчайная зона с косами, островами, зарослями тростника и рогоза. После 1950-х гг. на взморье Волги стала формироваться так называемая «буферная» зона, изолировавшая надводную часть дельты от непосредственного влияния моря. До этой зоны оказалось на 1 м выше уровня моря и было затоплено исключительно волжскими водами. В такой ситуации практически прекратилось движение вод и наносов вдоль морского края дельты, а речной сток сконцентрировался между островами и косами. Трансформация ветровых волн и взмучивание происходили на морском склоне устьевого бара в 35–40 км от морского края наземной дельты при уровне моря минус 27,0 — минус 29,5 м БС.

Таким образом, на верхнем участке рукава Бахтемир (речном участке ВКК) до 1963 г. протекали знакопеременные деформации при заметном преобладании участков аккумуляции, где скорость накопления наносов колебалась от 0,05 до 0,40 м/год. Ниже по течению от истока протоки Ямна (22 км от истока Бахтемира) более характерным процессом был размыт дна интенсивностью 0,09 м/год. В период

1963–1990 гг. тенденция понижения отметок дна стала еще более выраженной для большинства участков по длине Бахтемира. Возможно, это было связано с увеличением водоносности и транспортирующей способности рука-ва, а также с длительным понижением уровня Каспийского моря (максимально низкий уровень составлял минус 29,01 м БС в 1977 г.) и большими объемами дноуглубительных работ по трассе Волго-Каспийского канала.

Исследуя тренд эрозионно-аккумулятивных процессов в рукаве Бахтемир и по трассе Волго-Каспийского канала за период 1964–1995 гг., можно говорить о смене тенденции в направленности русловых деформаций. До 1990 г. в речной части Волго-Каспийского канала (в рукаве Бахтемир от истока до морского края наземной дельты) наблюдался типичный для равнинных рек процесс формирования русла с закономерным чередованием зон аккумуляции и размыва от 10 до 30 см/год по оси максимальных глубин и от 100 до 500 тыс. м<sup>3</sup>/год по ширине русла в границах изобаты 5 м.

Наиболее динамичной и хорошо изученной частью рукава Бахтемир является Харбайский перекатный участок, представляющий собой систему из двух излучин (верхней, радиусом 1,5 км в Харбайском колене и нижней, радиусом 3,7 км в районе слияния протоки Подстепок с Бахтемиром), соединенных прямолинейным участком русла между истоком ерика Гаванный и селами Хмелевое и Вахромеево. На верхней границе участка расположен Талычинский узел разветвления, вносящий серьезные корректировки в гидравлику потока рукава Бахтемир и определяющий специфику динамики Харбайских перекатов. В конце участка в узле слияния Бахтемира с Подстепком форми-

руется коса-стрелка с активной динамикой подводного рельефа.

Анализ совмещенных продольных профилей дна по оси максимальных глубин за период 1911–1950 гг. выявил не- сколько устойчивых зон аккумуляции:

- между ериками Никитинский и Гаванный (верхний Харбай);
- в средней части прямолинейной «свставки» (средний Харбай);
- в траверзе сел Хмелевое и Вахромеево (нижний Харбай).

Наиболее ярко процессы аккумуляции проявились на этих участках в период 1911–1930 гг., то есть до начала интенсивного дноуглубления ВКК и регулирования русла р. Волги. Кстати, в начале XX в. на Харбайский участок поступало около 25% общего стока рукава Бахтемир в створе у села Федоровка. Средний уровень моря за этот период колебался в районе отметки минус 26,2 м БС.

После 1930 г., когда уровень Каспия стал стремительно падать (по 16–20 см в год), а объемы ремонтного землечерпания в Бахтемире увеличились со 100 до 600 тыс. м<sup>3</sup> в год, стали проявляться процессы эрозии дна в верхнем и нижнем Харбае. Серия перекатов на среднем Харбае трансформировалась в единую глубоководное русло глубиной до 6 м. В среднем размыв составил около 1 м. За этот период падение среднегодового уровня Каспия составило 3,2 м (1929–1977 гг.). Водоносность Бахтемира увеличилась в 1,5 раза, а меженный расход в Харбайском колене ниже истока ерика Гаванный вырос в 2 раза и составил около 500 м<sup>3</sup>/с.

После 1977 г., когда в результате дноуглубления практически были достигнуты современные глубины по трассе Волго-Каспийского канала, а уровень Каспийского моря поднялся на 2,4 м до отметки минус 26,6 м БС (1995 г.), создав зону подпора в районе поселка

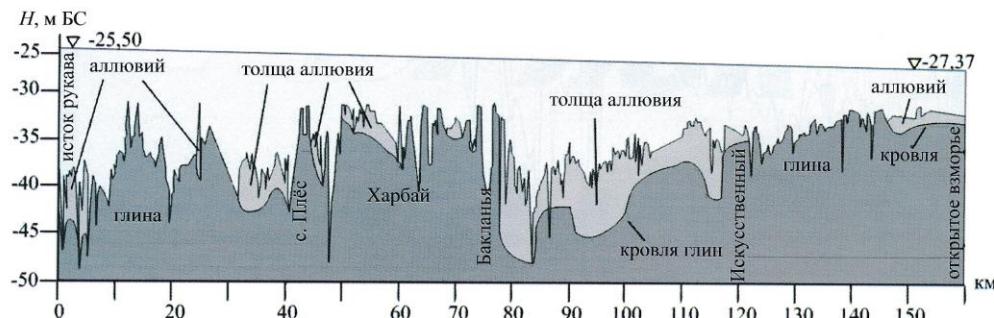


Рис. 9. Положение кровли коренных глин вдоль трассы Волго-Каспийского канала по данным сейсмоакустического профилирования

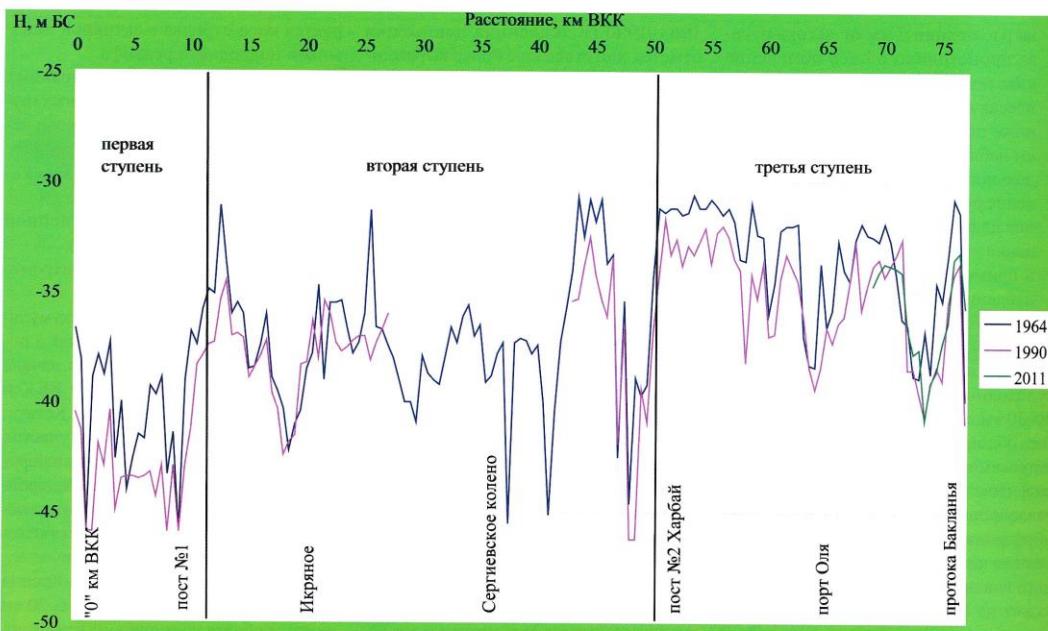


Рис. 10. Динамика дна рукава Бахтемир (речной части Волго-Каспийского канала)

Оля, произошли некоторые изменения в тенденциях и интенсивности гидро-морфологических процессов в Бахтемире. В частности, на Харбайском перекатном участке сместились перекат и зона местной аккумуляции от истоков ерика Гаваний вверх по тече-

нию до истоков протока Талыча и сформировалась левобережная отмель, существенно сократившая площадь живого сечения потока. Также появилась зона постоянной аккумуляции русловых наносов на левобережном побочне и на косе-стрелке в районе слия-

ния Бахтемира с протокой Подстепок (рис. 10).

В морской части Волго-Каспийского судоходного канала (ниже морского края дельты) размыи русла сохранялся до середины 1980-х гг., протекая со скоростью до 10 см/год (за исключени-

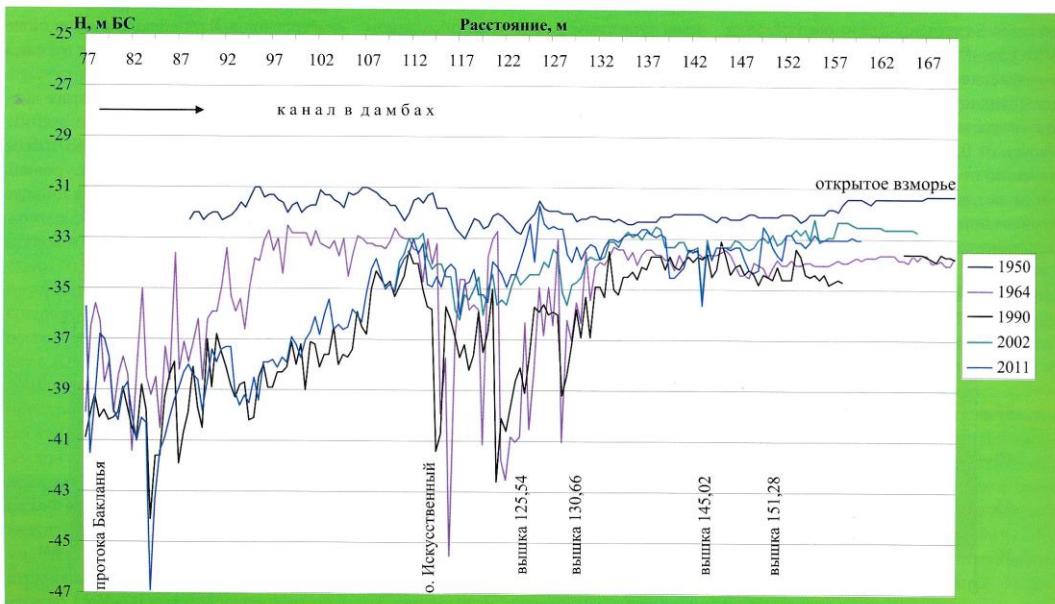


Рис. 11. Динамика дна морской части Волго-Каспийского канала



1964  
1990  
2011

епок  
кого  
кого  
ялся  
я со  
ени-

ем нескольких зон локальной аккумуляции) (рис. 11).

На первом участке канала (78–112 км ВКК) за период 1964–1999 гг. произошел повсеместный размыт дна на 0,5–5,0 м. На втором участке (112–124 км ВКК) в период 1950–1964 гг. происходил общий размыт дна на 1–10 м. В 1964–1990 гг. он сменился аккумуляцией на отдельных отрезках канала (119, 122–124 км ВКК), а затем в 1990–1999 гг. прирост высотных отметок дна на 2–4 м шел практически на всем втором участке. Повсеместный размыт дна на третьем участке отмечался до 1983 г., после чего к 1999 г. на дне накопился 2-метровый слой насыпей. Дно канала на четвертом участке размытось повсеместно на 1–2 м до 1983 г., а затем в период 1983–1995 гг. началась общая аккумуляция с увеличением отметок дна на 0,5–2,0 м. После 1995 г. дно канала опять повсеместно размылось на 1 м. На открытом взморье Волги глубина морской части Волго-Каспийского канала (пятого участка) с 1950 по 1964 г. постоянно увеличивалась на 2,0–2,5 м, а затем начался процесс постоянного заполнения канала речными и морскими наносами, который продолжался вплоть до 1999 г.

Анализ планов глубин за последние 10 лет (по данным съемок МАП и АКПИО) показал, что с 2002 по 2012 г., когда уровень Каспия сначала поднялся на 30 см (в 2005 г.), а затем понизился на 30 см, произошел размыт верховой части канала от устья протоки Бакланья до острова Искусственный на 1 м и заполнение прорези канала на 1–2 м между 117 и 132 км ВКК. В осадочной обвалованной части морской части Волго-Каспийского канала от 132 до 155 км ВКК отмечено чередование зон размыта и аккумуляции в слое толщиной не более 0,5–1,0 м. Дно канала на открытом взморье испытывало не значительный размыт (не более чем на 0,5 м за 10 лет).

#### Выводы и рекомендации

Проведение комплексных инженерных изысканий в пределах Волго-Каспийского канала позволило получить научное обоснование решения проблем по улучшению условий судоходства и разработать ряд рекомендаций по снижению негативных последствий развития природных процессов.

При проведении изысканий на объектах, аналогичных Волго-Каспийскому морскому судоходному каналу, для получения наиболее полных и досто-

верных натурных данных по происходящим в них эрозионно-аккумулятивным процессам наряду с традиционными методами рекомендуется:

- использование современных методов дистанционных исследований рельефа дна и русловых отложений для получения наиболее полной и актуальной информации;
- применение современной гидролокационной аппаратуры для получения дополнительных сведений о рельефе дна, характерных особенностях иерархической структуры гряд, обнаружения выходов в русло коренных пород, предварительной оценки крупности донных отложений;
- применение высокочастотной сейсмоакустической аппаратуры, позволяющей значительно облегчить получение объективных данных по литологическому строению аллювиальной толщи и распространить их на участки русла, не охваченные буровыми скважинами.

Рассмотренные в статье методы исследований для морских судоходных каналов могут быть использованы и для выполнения полноценного руслового анализа в целях улучшения судоходных условий на реках. ☈

**ЖУРНАЛ**

**о людях**  
**о землетрясениях**  
**о неустойчивых склонах и оползнях**  
**о вулканах**  
**о наводнениях и ураганах**  
**...**  
**о прогнозировании и предупреждении ЧС**  
**о важности работы изыскателей**

**ЖУРНАЛ** **GeoRisk**

**e-mail: info@geomark.ru**

**Список литературы**

1. Бабич Д.Б., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А. Инженерные изыскания при исследованиях русловых процессов на Нижней Волге // Инженерные изыскания. 2014. № 2. С. 35–41.
2. Байдин С.С. Процессы дельтообразования и гидрографическая сеть дельты Волги // Труды ГОИН. 1959. Вып. 45. С. 5–51.
3. Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов И.В. Гидрология дельты Волги. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 331 с.
4. Баланин В.М. Задачи работ на Волго-Каспийском канале в ближайшее пятилетие // Нижнее Поволжье. Саратов, 1929. № 12.
5. Балахин М. Десятилетние итоги работ на Волго-Каспийском канале // Наш край. Астрахань, 1927. № 8.
6. Богуславский Н.А. Волга как путь сообщения. К вопросу об обмелении Волги // Труды Института путей сообщения. СПб., 1887. Вып. 9.
7. Богуславский Н.А. О судоходных условиях в устьях Волги и северной части Каспийского моря и о мерах, необходимых для воспособления судоходству на этой части дельты // Материалы для описания русских портов и истории их сооружения. Вып. 14. Устья Волги. СПб.: Комиссия по устройству коммерческих портов, Типография Министерства путей сообщения, 1895. 265 с.
8. Валединский В.В. Краткие сведения о судоходных условиях дельты р. Волги. План Бахтемирского фарватера р. Волги от истока р. Тизани до с. Семирублевого // Труды Управления портовых изысканий Каспийского моря. Петроград: Управление портовых изысканий Каспийского моря, 1921.
9. Валединский В.В. Проблема Волго-Каспийского канала // Наш край. Астрахань, 1925. № 8.
10. Валединский В.В. Улучшение судоходных условий дельты Волги и схема ее гидрологического режима // Бюллетень ГГИ. Петроград, 1922. № 7–8.
11. Валединский В.В., Аполлов Б.А. Дельта реки Волги (по данным изысканий 1919–1925 гг.) // Труды Отдела портов и управления внутренних водных путей. Тифлис, 1928. Т. 1. Вып. 5. 661 с.
12. Винников Г.Ю., Власов Н.А. Каналы Северного Каспия. Астрахань: Нижневолжское изд-во, 1968.
13. Голицын Г.С., Раткович Д.Я., Фортус М.И., Фролов А.В. О современном подъеме уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 2. С. 133–139.
14. Записка по вопросу об улучшении судоходства в устьях Волги, составленная председателем комиссии об улучшении судоходства в устьях Волги, инженером, тайн. сов. Герсановым // Материалы для описания русских портов и истории их сооружения. Вып. 14. Устья Волги. СПб.: Комиссия по устройству коммерческих портов, Типография Министерства путей сообщения, 1895. 265 с.
15. Карта дельты реки Волга. Нижний Новгород: Волжское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства Росречфлота РФ, 2003. 98 л.
16. Коротаев В.Н. Волго-Каспийский канал: современное состояние и проблемы регулирования // Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов. М.: Изд-во Московского университета, 1999.
17. Коротаев В.Н., Зайцев А.А., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Морфология русла и стратиграфия отложений в западной подсистеме водотоков дельты р. Волги // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1996. № 5. С. 53–60.
18. Коротаев В.Н., Иванов В.В. Динамика зоны сопряжения рукава Бахтемир с устьевым взморьем Волги при колебаниях уровня моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1998. № 1.
19. Коротаев В.Н., Михайлов В.Н. Изменения гидрологического режима и русловые деформации дельтового рукава Бахтемир в условиях регулирования стока Волги и колебаний уровня Каспийского моря // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Московского университета, 1995. Вып. 10.
20. Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А. Исследование рельефа и отложений речных русел методами гидроакустики // Геоморфология на рубеже XXI века. М.: Изд-во Московского университета, 2000. С. 307–309.
21. Лестушевский В. Устья Волги // Журнал Министерства путей сообщения. СПб., 1887. № 5.
22. Лестушевский В. Устья и речной фарватер Волги // Журнал Министерства путей сообщения. СПб., 1899. № 2.
23. Лоцманская карта р. Волги от Царицына до взморья (фарватер 1914 г.). Казань: Изд-во Казанского округа путей сообщения, 1917. Вып. 95. 25 л.
24. Материалы к проектированию судоходного соединения р. Волги с Каспийским морем. Выпуск 1. Зависимость между основными элементами морских дноуглубительных работ и метод расчета работ / сост. В.М. Баланин. Астрахань: Акционерное общество «Каспийское пароходство», 1925. 83 с.
25. Михайлов В.Н., Исупова М.В. Влияние современных изменений уровня Каспийского моря на режим дельты Волги // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1997. № 6. С. 46–52.
26. Могилко Н.В. К вопросу о проблеме судоходства в устьевой части реки Волги // Водный транспорт. М., 1925. Т. 3. Вып. 2.
27. Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика / под ред. Г.И. Рычагова и В.Н. Коротаева. М.: ГЕОС, 2002.
28. Паспорт Волго-Каспийского судоходного канала. Астрахань, 1962.
29. Пахомова А.С. Геологические условия взморья дельты Волги по данным буровых скважин // Труды ГОИН. 1957. Вып. 34.
30. Рачковская К.А. Геологическое строение дельты Волги // Труды ГОИН. 1951. Вып. 18 (30).
31. Римский-Корсаков Н.А., Долотов Ю.С., Пронин А.А. Технические средства исследования рельефа дна и осадочной толщи эстuarных зон Белого моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 3. С. 468–473.
32. Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 4–12.
33. Скриптунов Н.А. Гидрология предустьевого взморья Волги. М.: Гидрометеоиздат, 1958. 143 с.
34. Тарасов В. Волго-Каспийский порт-канал // Водный транспорт. 1925. № 7.
35. Тимонов В.Е. Как улучшить судоходность устья р. Волги // Водный транспорт. 1924. Том 2. Вып. 3.
36. Труды Отдела торговых портов. Вып. 32. Устья Волги и Астраханский морской канал / сост. К.А. Балинский. СПб., 1914. 276 с.
37. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря / под ред. В.Ф. Полонского, В.Н. Михайлова, С.В. Кирьянова. М.: ГЕОС, 1998. 278 с.
38. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / под ред. В.Н. Михайлова. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.