

Гла́за IV

ТЕЧЕНИЯ

1. Общие сведения

Течения предустьевого взморья связаны с циркуляцией вод всего Северного Каспия. Поэтому их изучение нельзя отрывать от изучения движения вод всего Северного Каспия.

Несмотря на наличие ряда научных работ, посвященных течениям Северного Каспия, этот вопрос до сих пор изучен слабо. В схемах течений различных исследователей имеются существенные расхождения, особенно это относится к предустьевому взморью дельты Волги.

Как правило, все течения на предустьевом взморье показаны схематично. В 1877 г. Пушкин [83], а затем в 1921 г. Книпович [57] придерживались мнения о существовании циклонической схемы течений в Каспийском море, обусловленной стоком Волги и ветром. В 1930 г. А. И. Михалевский [75] построил антициклоническую схему течений для Северного Каспия, согласно которой основная масса волжской воды направляется вдоль западного берега на юг и юго-запад к банкам Ставовой и Жемчужной и далее к о. Чечень. В центральной части взморья, между островами Чистая Банка и Жесткий, сток волжской воды заметно ослабевает. Далее же, к востоку, в районе банок Новинской и Джамбайской, отмечается усиление влияния стока. Часть волжской воды идет слабой струей вдоль берега на восток, остальная же ее часть, южнее о. Жесткого, поглощается в общую циркуляцию восточной части Северного Каспия и следует в юго-восточном направлении к о. Долгому.

Схемы течений, предложенные Книповичем и Михалевским, относятся к схемам результирующих течений и указывают в самых общих чертах направление преобладающей циркуляции.

В 1936 г. Н. Н. Горский [29] в результате обработки большого количества наблюдений над течениями и ветром (6436 наблюдений) построил схемы течений Северного Каспия для ветров восьми главных румбов и карты преобладающих течений для каждого месяца навигации. Из схемы результирующих течений по наблюдениям за 1935—1936 гг. Горский делает вывод, что по северо-западному побережью от меридиана с. Забурунье сток волжских вод направлен на юго-запад. Восточнее этого меридиана течение следует на восток. Район Забурунья, по его мнению, служит зоной раздела для течений, направленных на запад и восток. Однако, вследствие невысокого качества исходного материала и принятых грубых допущений о том, что движение воды при ветре точно совпадает с направлением ветра, эта схема не получила признания. Все же Горский правильно подметил решающее влияние ветров на общую циркуляцию водных масс Северного Каспия.

В 1939 г. Г. Н. Зайцев [41] составил схему преобладающих ветровых течений для ветров восточного направления. А в 1940 г. В. А. Леднев [67] построил схему дрейфовых течений, вызываемых северо-восточными ветрами. В последней работе автор считает, что циркуляция вод в восточной части Северного Каспия имеет циклонический характер, в отличие от составленной ранее схемы Михалевского.

Схемы Зайцева и Леднева имеют некоторые недочеты. Так, например, на схеме Зайцева указанная дивергенция потоков охватывает всю толщу воды, чего в природных условиях не может быть. Аналогичная картина для западной части Северного Каспия показана и на схемах Леднева. Авторы не учитывают также поперечную неравномерность ветра над Северным Каспием.

В 1942 г. В. А. Зенин [42] предложил схему течений, построенную по данным непосредственных наблюдений над течениями, которая в общих чертах согласуется со схемой Михалевского.

Г. В. Ржеплинский в 1953 г., основываясь на теоретических положениях В. Б. Штокмана [105] о расчете полных (результирующих) потоков, построил для Северного Каспия схемы течений (они же являются схемами распределения полных потоков). В его работе принимается во внимание только горизонтальная циркуляция воды в бассейне, в то время как в действительности наблюдается двухслойное по глубине течение. Не учитывается и изменение объема вод бассейна. Вследствие этого предложенные схемы течений имеют ряд недостатков и не дают фактической картины течений Северного Каспия.

В последние годы теория ветровых течений получила дальнейшее развитие в работах П. С. Линейкина и А. Н. Фельзенбаума (1954).

В качестве примера применения своей теории к морю реальных очертаний они сделали расчет ветровых течений Северного Каспия по четырем характерным полям ветра, установленным С. Д. Кошинским и Л. Г. Пылаевым [60]. Так как авторы пользовались теми же полями ветра, что и Ржеплинский, то естественно, они получили схемы, сходные со схемами полных потоков Ржеплинского.

Обшим для всех четырех типов ветров по этим схемам является наличие в восточной части Северного Каспия замкнутой циркуляции (по ходу часовой стрелки). В отличие от Ржеплинского, Линейкин и Фельзенбаум причиной такой циркуляции считают рельеф Северного Каспия, который затрудняет водообмен между западной и восточной его частями.

Выбор Северного Каспия в качестве примера для применения метода расчета течений Линейкина и Фельзенбаума сделан несколько неудачно по следующим причинам: а) условие «постоянного объема воды в бассейне» не выполняется, так как при любом поде ветра существует водообмен между Северным и Средним Каспием, который трудно учесть; б) уровень, а следовательно, и течения, на Северном Каспии непрерывно изменяются, поэтому течения не могут рассматриваться как установившиеся; в) условие «вертикальной однородности воды» не выполняется вследствие наличия в Северном Каспии больших вертикальных градиентов солености. Не учтены также горизонтальные градиенты плотности, изменение береговой черты при снонах и нагонах и т. п.

Как указывают сами авторы, «примененный метод расчета не дает возможности выявить влияние отдельных физико-географических факторов на характер течений в море» (1954).

В заключение отметим, что Линейкин и Фельзенбаум, как и Ржеплинский, используют карты полей ветра, построенные Кошинским и Пылаевым всего для 26 случаев штормов в Среднем Каспии за период с октября 1950 г. по апрель 1951 г., т. е. в основном за зимний период, когда большая часть Северного Каспия находится подо льдом.

Таким образом, до настоящего времени не удалось еще получить достаточно точного представления о циркуляции вод взморья и Северного Каспия при определенных ветровых условиях. Для построения эмпирических схем течений достаточного количества надежных наблюдений не было, а методы теоретических расчетов, вследствие сложности физико-географических условий не могут пока дать хороших результатов. Все существующие схемы течений дают либо статистическую картину (результатирующие течения), либо идеализированную схему, не учитывающую ряда важных факторов. Поэтому в каждом отдельном случае фактические течения могут не иметь ничего общего с существующими схемами. Это особенно относится к предустьевому взморью дельты Волги, для которого до сих пор еще нет приемлемой схемы течений.

Более успешное изучение режима течений на взморье требует сначала подробного рассмотрения влияния отдельных факторов на режим течений в различных районах взморья, а затем, учитывая все основные факторы, получить реальную картину течений при тех или иных условиях.

Характер и режим движения вод взморья определяются следующими основными факторами, взаимодействующими друг с другом: стоком Волги, ветром и течениями из Среднего Каспия. Кроме них на течения мелководной части взморья большое влияние оказывает рельеф дна и водная растительность, а на свале глубин — большие вертикальные градиенты плотности воды. В зимний период на всем взморье до свала глубин устанавливается сплошной ледяной покров, который препятствует созданию дрейфовых течений. Поэтому в это время здесь наблюдаются слабые стоковые и стоянно-нагонные течения.

Исходя из причин, вызывающих течения, а также из особенностей этих течений, все взморье можно разбить на три района генетически разнородных течений. Первый — от морского края дельты до морского бара включительно. Это район преобладания стоковых течений. Второй — собственно взморье от морского бара до свала глубин. Это район преобладания дрейфово-градиентных течений. Третий — свал глубин. Здесь сильно развиты градиентные течения, а также располагается северная граница кругового течения Среднего Каспия. Произведенное выделение районов генетически разнородных течений хорошо согласуется с районированием взморья по рельефу и глубинам (рис. 2).

Первые наблюдения над течениями взморья относятся к началу 20-х годов нашего столетия. Наиболее обширные стационарные наблюдения в его западной части проводились в 1919—1925 гг. под руководством Валединского и Аполлова [22]. В этот период наблюдения за течениями велись на постах: Астраханский 12-футовый рейд, Чистая Банка, Центральный морской пост, 33-й км Морского канала, Белинский морской пост, свал глубин на выходе Камызяка, выход Гандуринского банка, Тишковский морской пост и на рейдовых вертикалях между этими постами. За 6 лет было произведено более 2000 наблюдений. Однако в связи с падением уровня Каспийского моря после 1930 г. более чем на 2 м и выдвижением морского края дельты, оказалось возможным использовать только часть этих наблюдений. С 1928 по 1937 г. Службой пути Астраханского рыбопорт измерялись течения на Астраханском 12-футовом рейде. В 1938—1940 гг. Астраханская экспедиция Гидропроводтранса измеряла течения в районе Волго-Каспийского канала (от морского края до д/к «Донбасс»). На д/к «Донбасс» в период навигации с некоторыми перерывами производятся наблюдения над течениями с 1938 г. по настоящее время. Некоторые работы по изучению течений были предприняты в районе Белинского канала Экспедициями Гидропроводтранса в 1934 г. и Каспморпроекта в 1940 и 1954 гг., Астраханской рыбозаводской станцией

(ВНИРО) в летний период 1935—1940 гг. на судах «Почин» и «Опыт» производились эпизодические исследования течений вдоль морского склона бара. В сентябре 1952 г. Волжская устьевая станция сделала два гидрологических разреза в районе Белинского канала. Интересные наблюдения над течением в бороздинах и на баре были проведены ВНИРО в мае—июне 1952 г. К сожалению, эти наблюдения производились не вертушкой, а батометром-тахиметром и не сопровождались наблюдениями над ветром и уровнем. Несмотря на указанные недостатки, эти материалы все же представляют интерес, как первая попытка дать характеристику течений различных районов мелководной части взморья.

Всего за период с 1919 по 1955 г. на взморье было выполнено более 12 000 наблюдений над течениями. Однако большинство измерений проводилось поплавками Митчеля, что снижает точность определения элементов течений и затрудняет их сравнение с наблюдениями течений вертушками. Почти все полученные данные относятся к районам Волго-Кас-

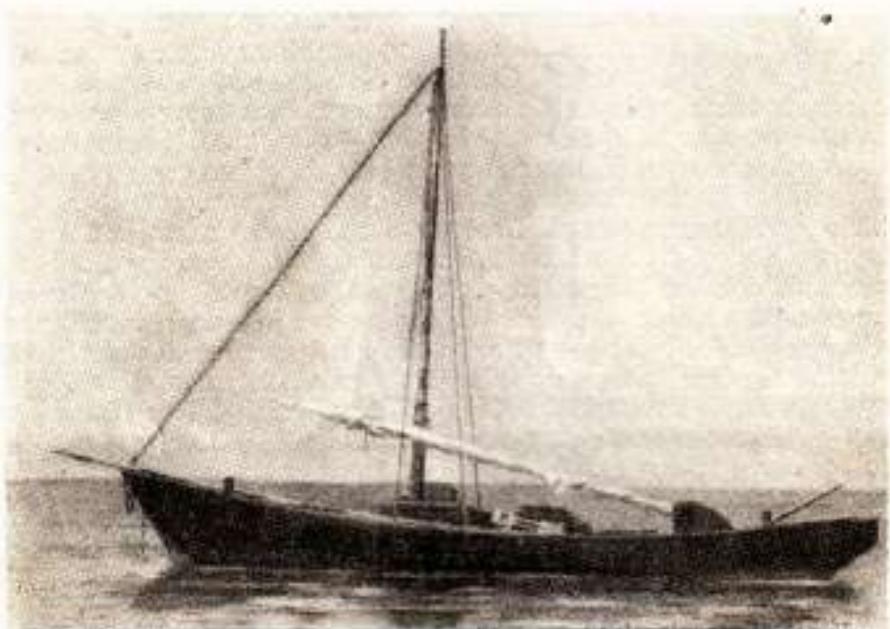


Рис. 18. Парусная бударка, на которой производилась экспедиционная работа ГОИНа на мелководном взморье Волги.

цинского и Белинского каналов, а на огромном пространстве взморья между ними, а также в восточной части взморья наблюдения над течениями почти не производились. В связи с существенными изменениями гидрологического режима взморья в последние годы и с неравномерным распределением наблюдений по взморью дать современную картину течений на основании имеющихся материалов, оказалось невозможно. Поэтому с мая по август 1955 г. ГОИН определял течения по всему взморью. Для работ в мелководных районах взморья (0,3—2,5 м) была использована рыбачья лодка (бударка), которая передвигалась в зависимости от обстановки либо парусом, либо шестом (рис. 18). Использовать подвесной мотор не представлялось возможным из-за сильно развитой водной растительности. Течение наблюдалось морской вертушкой и вертушкой Ж-3. Одновременно проводились и остальные гидрологические и ме-

теорологические наблюдения. Определение места производилось по береговым и морским знакам. При отсутствии ориентиров, местоположение определялось по счислению. Направление при этом определялось по гироскопическому компасу, а скорость движения — с помощью ручного лага, к которому вместо плавучего сектора был прикреплен небольшой груз (около 5 кг). Погрешности за счет наклона лаглиния до глубины 2—3 м и скоростях не менее 2 узлов практически ничтожны.

Наблюдения производились как по основным бороздам взморья, так и на разрезах. Длина разрезов, расположенных нормально к дельте,

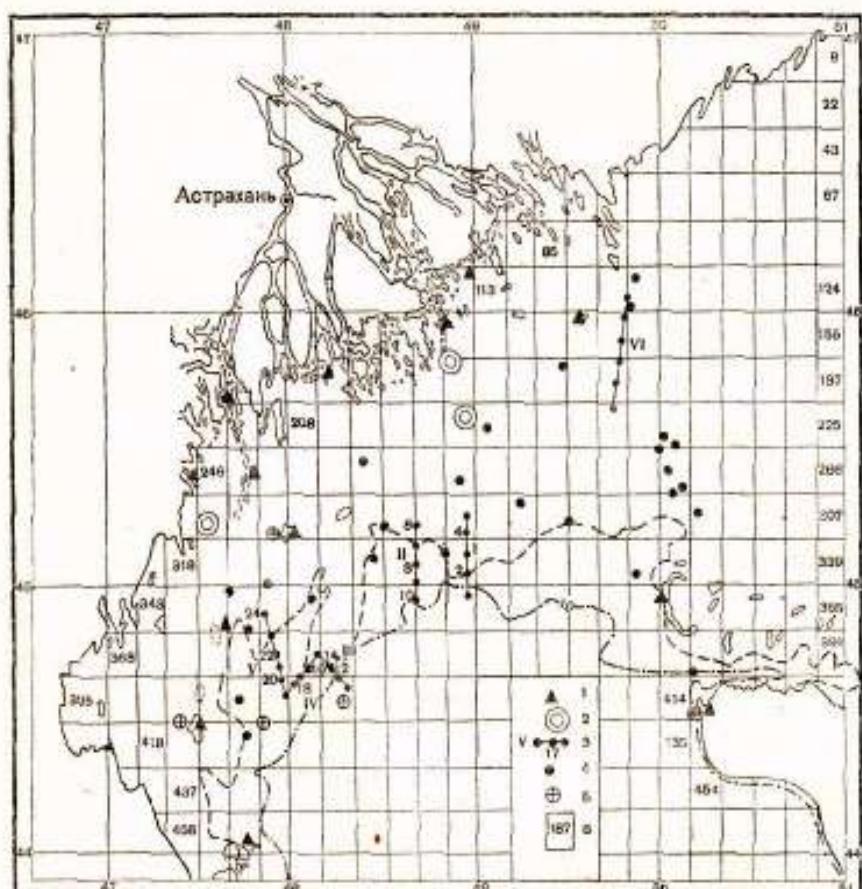


Рис. 19. Схема размещения гидрологических станций и разрезов на взморье дельты Волги и схема квадратов Северного Каспия: 1 — гидрометеостанции в посты, 2 — стационары Каспморпроекта, 3 — гидрологические разрезы ВУГМС, 4 — многодневные станции, 5 — рейдовые пункты гидрометстанций, 6 — номера квадратов.

составляла 30—45 км (до глубины 2,5—3 л). Поскольку течения на мелководном взморье обусловливаются главным образом стоком Волги, то наблюдения производились в различные фазы половодья: в начале половодья, в пик и в межень. За период навигации было три рейса, каждый из которых длился 18—20 дней. Всего на мелководном взморье выполнено более 300 гидрологических станций. Полученный материал положен

в основу схем течений мелководной части предустьевого взморья Волги.

Для исследования дрейфовых течений в предустьевом пространстве моря использованы материалы рейдовых наблюдений гидрометеостанций о. Тюленьего, о. Чистая Банка, Форта Шевченко, д/к Донбасс, наблюдений на плавмаяках Астраханский приемный и Средней Жемчужной, стационарах Каспморпроекта (1940 и 1954 гг.), а также данные двухсуточных станций 1941 г., многосуточных станций 1955—1956 гг. ВУГМС и пятисуточных станций ГОИНа (две в 1952 г. и одна в 1954 г.) (рис. 19). Кроме того, использованы данные стандартных разрезов ВУГМС в 1952—1955 гг. и разрезов ГОИНа в 1954 г. (более 500 станций).

2. Стоковые течения

а) Режим стоковых течений в зоне сопряжения дельты и мелководного взморья

При впадении реки в море гидродинамический режим речного потока резко изменяется. Происходит растекание речных струй, уменьшаются уклоны водной поверхности и скорости течения. Эти изменения сильно осложнены сгонно-нагонными явлениями.

Наиболее важными вопросами гидродинамического режима мелководного взморья являются распределение водного и твердого стока на взморье, динамика речной струи на взморье, взаимодействие речного и морского (дрейфового) течений. Ни один из этих вопросов еще обстоятельно не освещен в литературе. Теоретические схемы течений при втекании потока в спокойный водоем, предложенные Н. М. Бернадским и усовершенствованные Б. М. Маккавеевым, ограничены случаем небольшого водоема, в котором на режим втекающей струи оказывают влияние берега. Для характеристики течений на участках втекания рек в моря эти схемы непригодны.

В природе речной поток после втекания в море может оказаться в условиях либо приглубого, либо мелководного взморья. Волга втекает на обширное мелководное взморье и вырабатывает себе бороздины, поэтому здесь наблюдается медленное расширение струи и постепенное уменьшение ее расхода и скоростей течения.

Наблюдения над уклонами водной поверхности взморья дельты Волги показали, что существует постоянный наклон водной поверхности взморья от морского края дельты в сторону моря. Исключение составляет период сильных нагонов, когда уклон может быть обратным, т. е. от моря к дельте. По данным М. П. Гудкова (1951 г.) падение уровня на взморье Волги в период половодья составляет 1,5 м на 50 км; по данным Каспморпроекта в межень (сентябрь 1954 г.) оно разно 0,91 м на 40 км. Существование постоянного уклона водной поверхности взморья в сторону моря обусловливает стоковое течение от рукавов дельты в сторону моря. Направление этого течения в тихую погоду постоянно. Так как величина уклонов водной поверхности взморья изменяется в связи с изменениями уровня Волги и моря, то скорости стокового течения непостоянны.

По мере удаления от морского края в море уклон водной поверхности уменьшается, что влечет за собой уменьшение и скорости стокового течения. За морским баром уклон близок к нулю, и скорость стокового течения равна 3—5 см/сек. Поэтому за южную границу стокового течения можно считать 2-метровую изобату.

На мелководной части взморья стоковое течение обычно охватывает весь слой воды. В этих случаях распределение скорости течения по вер-

тикали оказывается подобным распределению скоростей в речном потоке.

В межень основным путем поступления волжских вод на взморье является огромное количество (более 800) банков, протоков и ериков морского края дельты Волги. В половодье нижняя часть дельты, прилегающая к морскому краю, затапливается, и тогда на взморье поступает сплошной водный поток. Однако скорости течения в этом потоке различны. В руслах крупных банков скорости течения достигают более 1,0 м/сек, в протоках и ериках — 0,8—0,9, в приморских ильмениях и култуках — 0,3—0,4, а в зарослях камыша морского края дельты — 0,04—0,07 м/сек.

Скорости течений в устьевых участках неодинаковы для различных банков и изменяются от года к году и от месяца к месяцу (табл. 25).

Таблица 25

*Изменения скорости течения в выходном участке р. Быстрой
(система Старой Волги) в 1947 г. (по К. П. Парфенову)*

Дата наблюдений	Скорость, м/сек	Дата наблюдений	Скорость, м/сек
9 V	0,99	7 VIII	0,46
29 V	1,11	8 IX	0,26
16 VI	0,94	2 X	0,21
7 XII	0,76	22 X	0,29
14 VIII	0,66	3 XI	0,31
28 VII	0,48		

Наибольшие скорости течений наблюдаются в конце мая — начале июня, т. е. перед пиком половодья, а затем они уменьшаются. Резкое уменьшение скорости происходит в августе. Наименьшие скорости течений за весь навигационный период бывают в конце сентября и в начале октября. К ноябрю скорости несколько увеличиваются вследствие прохождения осенней паводочной волны и отмирания водной растительности в водостоках и култуках.

Таблица 26

Скорости течения в устьях крупных банков дельты Волги в 1955 г.

Название банка	Подъем уровня		Пик половодья		Межень	
	Дата	Средняя скорость, м/сек	Дата	Средняя скорость, м/сек	Дата	Средняя скорость, м/сек
Никитинский	27 V	1,14	24 VI	1,12	28 VII	0,84
Кулагинский	27 V	1,43	23 VI	1,36	27 VII	0,97
Кировский	28 V	0,96	22 VI	0,87	26 VII	0,85
р. Белуха	14 V	0,91	20 VI	0,69	24 VII	0,51
Белинский	13 V	1,31	27 VI	1,20	29 VII	0,99
Караевский	24 V	1,38	2 VII	1,17	1 VIII	0,85
Обуховский	28 V	0,92	22 VI	0,83	—	—
Васильевский	—	—	—	—	1 VIII	1,08
Иголкинский	21 V	1,16	30 VI	1,02	4 VIII	0,81

Как видно из табл. 26 на Кулагинском и Васильевском банках скорости больше, чем на других банках, хотя на их выходах микробары создают подпор воды в реке, и за ними отсутствуют резко выраженные бороздины или каналы. Объясняется это тем, что воды этих банков дви-

жутся по кратчайшему расстоянию от истока до выхода на взморье, что обуславливает максимальные уклоны водной поверхности в них, а следовательно, — и наибольшие скорости течения, по сравнению со скоростями в соседних бахках.

Режим стоковых течений в придельтовой зоне взморья зависит от морфологических особенностей нижней части дельты и прилегающего участка мелководного взморья, одной из которых является речной бар (микробар).

Обычно микробар формируется у бахков, имеющих на выходных участках большие уклоны водной поверхности. Вода таких бахков несут с собой много извешенных и влекомых напосов.

В 1955 г. был исследован режим течений микробаров ряда бахков и

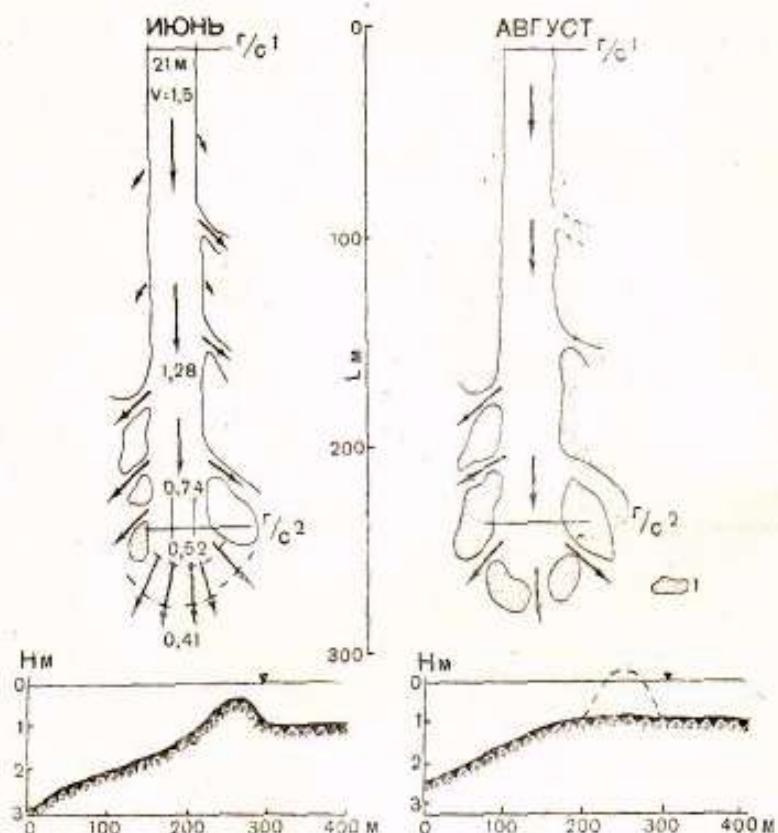


Рис. 20. Схема устьевого участка Кулагинского бахка. I — места, осматривавшиеся в межень.

протоков (Кулагинского, Васильевского, Караенка, Никитинского и др.), но наиболее подробно исследован режим течений микробара у Кулагинского бахка. Здесь в начале половодья (май) в реке перед микробаром скорость течения равна 1,25 м/сек. По мере приближения к микробару, вследствие оттока воды в боковые протоки и уменьшения глубины, скорости уменьшаются, и на микробаре равны около 0,50 м/сек.

Такое значительное затухание скорости происходит на расстоянии всего лишь 350 м. За микробаром на взморье наблюдается постепенное уменьшение скорости течения вследствие горизонтального расширения водного потока.

В пик половодья (июнь) скорость течения в Кулагинском банке составляет 1,5 м/сек. Поскольку уровень воды в реке по сравнению с ма-ем повысился на 70 см, то резко увеличилось число боковых протоков на участке выше микробара (рис. 20). Оказались затопленными и россыпи микробара, выступавшие над водой в мае. В связи с этим перед микробаром в реке наблюдается резкое расширение водного потока. Скорости течения уменьшаются с 1,3 до 0,6 м/сек всего лишь на расстоянии 300 м. Над затопленными островами микробара скорость течения равна 0,5 м/сек. На взморье, за микробаром, скорость течения затухает на расстоянии 5 км от 0,5 до 0,2 м/сек.

Вследствие резкого уменьшения скоростей течения перед микробаром, основная часть крупнозернистых наносов отлагается на затопленных россыпях микробара, увеличивая их размеры. В этот период протоки между островами микробара, существовавшие перед половодьем, почти полностью заносятся песком.

В начале межени (август) в реке скорость течения уменьшилась до 1,0 м/сек. В связи с послепаводочным спадом уровня на 70—80 см обсох ряд боковых протоков перед микробаром, а также выцели на дневную поверхность россыпи микробара, прорезанные вновь образованными промонами (рис. 21). Наибольшее уменьшение скорости течения (с 0,95 до 0,60 м/сек) происходит на участке непосредственно перед баром. Сразу за россыпями на первых сотнях метров взморья отмечается уменьшение скорости с 0,60 до 0,40 м/сек. Далее, к морю, скорости уменьшаются менее резко. Если на первом километре взморья от россыпей микробара скорость уменьшается на 0,16 м/сек на 1 км, то на четвертом километре — всего лишь на 0,03 м/сек на 1 км. В этот период на взморье сильно развита водная растительность, которая также способствует быстрому затуханию скорости.

В половодье большая часть расхода в устье Кулагинского банка уходит в боковые протоки на участке длиной в 300 м, а на микробар поступает всего одна четверть первоначального расхода (табл. 27).

Таблица 27
Гидравлические характеристики участка микробара Кулагинского банка
в половодье и межень

Распределение суммарного расхода воды	В половодье				В межень			
	Расход во- ды, м ³ /сек	Скорость течения, м/сек	Средняя глубина, м	Ширина, м	Расход во- ды, м ³ /сек	Скорость течения, м/сек	Средняя глубина, м	Ширина, м
Гидрострой 1	78	1,30	0,9	21	38	0,85	2,0	21
Гидрострой 2	19	0,70	—	26	18	0,65	1,2	26
Потери расхода через боко- вые протоки, м ³ /сек . . .	59	—	—	—	20	—	—	—
Потери расхода, %	75	—	—	—	32	—	—	—

Отметим, что боковые протоки мелководны, с глубиной не более 1 м, поэтому через них уходит вода поверхностного слоя потока, несущая относительно меньшее количество взвешенных наносов. Это еще в большей мере способствует образованию россыпей микробара, наличие которого

приводит к тому, что речные воды выходят на взморье широким потоком, не вырабатывая себе бороздин на взморье.

В начальный период межени большинство боковых протоков пересыхает. Значительная часть расхода поступает непосредственно на выходной участок реки (микробар). Это оказывает влияние на образование промоин в россыпях микробара.

Аналогичная картина изменения режима течений наблюдается на микробарах Караенка, Васильевского и некоторых других банков.

В отличие от описанных микробаров, в Никитинском банке микробар находится на взморье, в нескольких километрах от морского края. Существование микробара на большом удалении от морского края объясняется следующим. Уже много лет первые 3 км бывшего Никитинско-

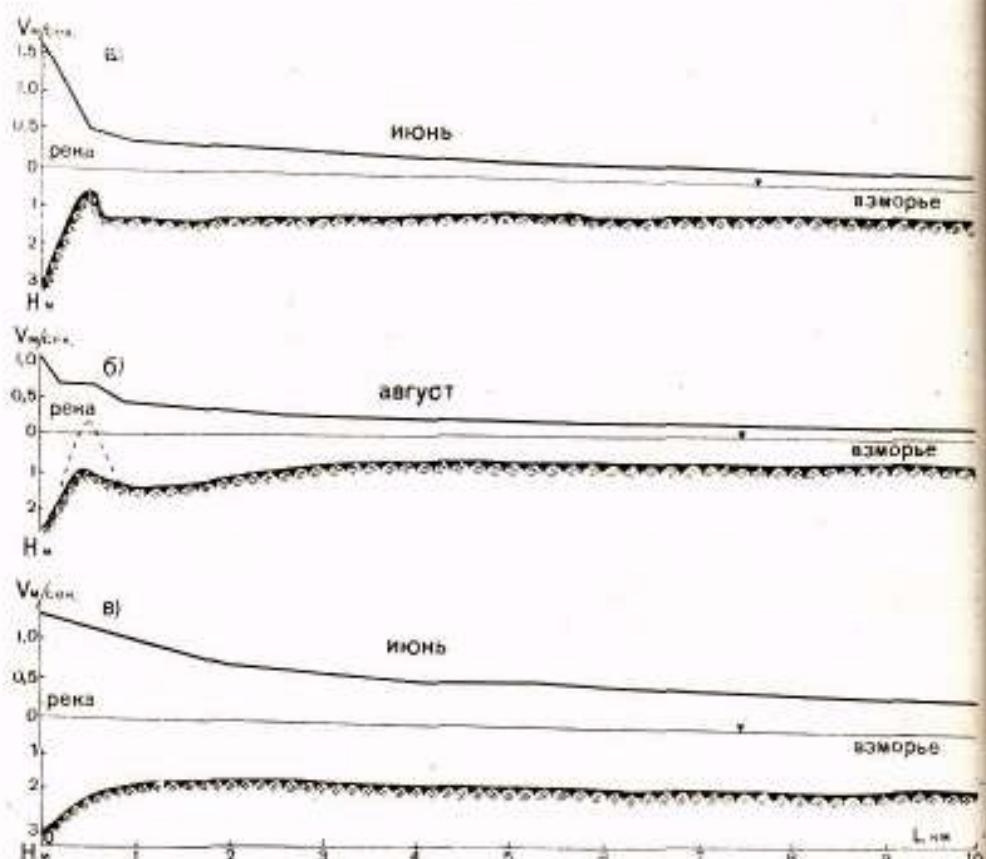


Рис. 21. Изменение скорости стокового течения на взморье: а и б — Кулагинский банк при наличии речного бара, в — Иголкинская бороздина.

го канала на взморье очищаются в летний период. Службой пути Астраханского рыбпорта от водной растительности и наносов. Вследствие этого, а также в связи с наличием с восточной стороны бороздины надводной Никитинской косы речной поток, выходя из реки, растекается слабо, скорости течения уменьшаются постепенно. На 4-м километре в конце свободной от растительности бороздины скорость течения резко уменьшается, происходит растекание потока и отложение крупнозернистых взвешенных наносов. Таким образом, здесь создается «затопленный» микробар, т. е. глубина резко уменьшается, однако россыпи на

поверхность воды не выходят. Наиболее значительно уменьшаются скорости течения (от 0,60 до 0,31 м/сек) на микробаре.

В том случае, когда проток имеет свое продолжение на взморье в виде бороздины или канала, скорость течения на его устьевом участке уменьшается постепенно. Так, например, на выходном участке Иголкинского банка скорость течения на 1-м километре уменьшается с 1,3 до 1,0 м/сек, т. е. всего лишь на 0,3 м/сек (рис. 21). При наличии микробара, например у Кулагинского банка, скорость течения на таком же расстоянии уменьшается с 1,6 до 0,45 м/сек, т. е. на 1,15 м/сек.

При выходе волжских вод на взморье через проточные култуки и бачинны скорости течения имеют ярко выраженные сезонные изменения (табл. 28).

Таблица 28
Скорости поверхностного течения (см/сек) в културной зоне
Дамчикского участка (по К. П. Парфенову, 1947 г.)

Дата	Гидроствор 1			
	вертикаль 1	вертикаль 2	вертикаль 3	вертикаль 4
	Култук Сазань			Бачина
30 IV	28	29	29	—
26 V	32	27	28	76
14 VI	21	9	9	81
23 VI	20	—	6	81
10 VII	7	7	3	74
28 VII	5	8	3	51
11 VIII	3	4	3	46
8 IX	Течение очень слабое			25
30 IX	—	—	—	23
17 X	—	—	—	21
3 XI	—	—	—	23

Дата	Гидроствор 2			
	вертикаль 5	вертикаль 6	вертикаль 7	вертикаль 8
	Култук Сазань			Бачина
15 V	22	45	29	66
28 V	20	31	40	72
12 VI	22	9	9	73
25 VI	17	12	7	101
12 VII	4	7	9	85
25 VII	6	7	12	62
11 VIII	4	8	9	46
3 IX	Течение очень слабое			29
30 IX	—	—	—	33
30 X	—	—	—	28
3 XI	—	—	—	23

Из табл. 28 видно, что скорости течения в Сазаньем култуке намного меньше, чем в бачинне, проходящей через этот култук. Наибольшие скорости течений наблюдались в начале половодья (май) в култуке — 0,30—0,40, а в бачинне — 0,60—0,80 м/сек. В июне, несмотря на увеличение скоростей течения в бачинне, скорости в култуке начали уменьшаться вследствие быстрого развития водной растительности, начиная с середины мая. Наиболее резко уменьшаются скорости в култуке в начале июля, когда развитие растительности достигает максимума. В межень, когда уровень воды сильно понижается, скорости течения в кул-

туках уменьшаются еще больше, и часто течение совсем прекращается. В банчинах в это время скорости равны 0,23—0,25 м/сек. Таким образом, по мере развития водной растительности в култуке сток по его акватории перераспределяется. Если в мае сток волжских вод происходит по всей ширине култука, то в сентябре он почти весь сосредоточивается в банчине.

Аналогичная картина сезонного изменения течений в култуках морского края дельты Волги наблюдалась нами в 1955 г. Так, например, в култуке Телячинском в мае средняя скорость течения в банчине равнялась 0,71 м/сек, а на прилегающем мелководье — 0,20 м/сек. В августе, когда култук сильно обмелел (до 0,5 м) и покрылся густой растительностью, течения практически не было. В банчине же в это время скорость течения оставалась значительной — около 0,30 м/сек.

Ввиду неравномерного распределения волжского стока вдоль морского края дельты профиль водной поверхности взморья параллельно морскому краю дельты (на расстоянии 2—3 км) должен представлять собой волнистую линию. Отметки уровенной поверхности воды на участках с сосредоточенным стоком будут несколько выше отметки поверхности рядом лежащих участков, где речной сток незначителен. Выравниванию отметок водной поверхности очень часто препятствуют косы и острова взморья, которые вытянуты по направлению течения. Таким образом, в этой зоне взморья имеются уклоны водной поверхности не



Рис. 22. Схема поперечного профиля водной поверхности вдоль морского края дельты.

только от морского края дельты к морю, но и вдоль морского края, от участков с сосредоточенным, относительно большим речным стоком, к соседним участкам — с менее значительным стоком (рис. 22). Уклоны порождают течения, направленные вдоль морского края дельты. Особенно хорошо эти течения выражены в проливах между островами и косами, разделяющими различные участки взморья.

Наиболее значительные скорости таких течений (0,16 м/сек) были отмечены летом в районе пролива между островами Средним и Дальним Галкиным со стороны Каменской ямы. В этот же район, но уже с постока, проникают воды из Бардинской бороздины. Постоянное течение наблюдается из Горбошной протоки в район Тищковской ямы. Аналогичная картина была обнаружена в районе между взморем Карайского канала и восточной оконечностью о. Красинского, между о. Блиновская Коса и о. Хохлатинский и в др. районах.

В восточной части взморья течения с составляющей вдоль морского края обусловливаются не только наличием поперечных уклонов, но и общим уклоном водной поверхности в юго-восточном направлении. Большую роль в режиме поперечных течений играет также водная растительность взморья. Она способствует уменьшению скоростей течения и подпорному повышению уровня воды. Однако, так как взморье зарастает

неравномерно по акватории, то уровень в отдельных районах повышается неодинаково, что создает местные течения.

Особенно ярко местные течения выражены в восточной части дельты, в районе Иголкинской бороздины. Речной сток, приходящийся на Обжоровский участок морского края и на район Иголкинского банка, примерно одинаков. Но первый сильно застает растительностью, в то время как второй очищается от нее искусственным путем. На первом участке уровень вследствие добавочного гидравлического сопротивления за счет растительности выше, чем на втором, поэтому существует устойчивое течение из первого участка во второй через пролив между о. Песчаная Кося и о. Маленьким, а также южнее о. Маленькиго.

Наличием местных уклонов водной поверхности взморья отчасти объясняется схождение некоторых водных потоков взморья в один более крупный поток.

б) Режим течений основных каналов и бороздин взморья

Волго-Каспийский канал. Волго-Каспийский канал служит основной судоходной артерией, связывающей Волгу с Каспийским морем. Длина канала в настоящее время — 72 км, считая от морского края дельты, или 101 км, считая от Могильного бугра. Средняя глубина канала — 3,5 м, ширина — около 100 м (по дну).

По режиму течений Волго-Каспийский канал можно разделить на три больших участка: 1) северный (речной), занимающий примерно 40 км длины, с преобладающим влиянием речного стока, 2) средний (40—55 км), являющийся переходным, и 3) южный, морской, где режим течений, особенно в поверхностном слое, в основном определяется ветром.

Рукав Бахтемир несколько ниже впадения в него протока Бакланьего (103 км от Астрахани) переходит в Волго-Каспийский канал. Примерно начиная с 105 км (от Астрахани) речной поток оставляет естественные берега дельты и идет далее по каналу между берегами, образованными отвалами рефулируемого грунта на бровки во время дноуглубительных работ в канале. Вследствие неравномерного рефулирования грунта за бровки, а также вследствие воздействия стонно-нагонных явлений, отвалы грунта оказались прорезанными многими протоками и образовали отдельные острова. Совместная деятельность реки и падение уровня Каспия способствовали относительному поднятию островов над окружающим мелководным взморьем Волги. Острова, вытянутые вдоль канала с обеих сторон, шириной 150—200 м, возвышаются над меженным уровнем воды на 0,5—0,7 м и более. На первых километрах пути располагается своеобразный речной бар канала. Против всех протоков между островами бровок образуются отмелы. Ниже боковых протоков глубины по каналу уменьшаются, особенно после отделения наиболее многоводных протоков. Наличие протоков и промоин между островами канала влияет на режим течений в канале, особенно в период стонно-нагонных явлений, увеличивая или уменьшая скорости течения.

Участок канала от 8-го до 12-го километра, где происходит наибольшее рассосредоточение расхода воды, называется участком шалыг (отмели в ложе канала).

Скорости течения на речном участке канала обусловливаются величиной речного стока. Течение на всех горизонтах направлено к югу, т. е. по каналу. Ветер только уменьшает или увеличивает скорость течения. Наибольшие скорости течения наблюдаются в поверхностном слое. В южной части участка на восточной бровке скорости несколько больше, чем на западной, поскольку на восточную бровку большее влияние оказывают ветровые течения.

В межень скорости течения выше участка шалыг и на самом участке шалыг почти одинаковые (табл. 29). Средняя скорость течения на этом участке равна 0,67 м/сек.

Таблица 29

Наибольшие и наименьшие скорости течения (м/сек) на участке шалыг в межень (по данным Союзморпроекта, 1942 г.)

№ гидроствора	Поверхность		0,6 Н		Дно		Средние скорости
	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	
1	0,96	0,52	0,88	0,46	0,71	0,37	0,65
2	0,99	0,48	0,85	0,55	0,66	0,33	0,68
3	0,96	0,54	0,85	0,57	0,79	0,43	0,70
4	0,93	0,68	0,85	0,57	0,63	0,41	0,66
	1,08	0,64	0,94	0,46	0,79	0,42	0,69

Во время половодья на участке шалыг происходит значительное (до 35%) уменьшение скорости течения (табл. 30). Это объясняется

Таблица 30

Наибольшие и наименьшие скорости течения (м/сек) в половодье на участке шалыг (по данным Союзморпроекта, 1942 г.)

№ гидроствора	Поверхность		0,6 Н	
	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.
1	1,55	1,44	1,34	1,29
2	1,09	0,95	0,87	0,76
3	1,04	0,92	0,88	0,77

большим оттоком вод из канала через боковые протоки выше шалыг. На участке шалыг расход воды в половодье по сравнению с меженью изменяется незначительно. Образование шалыг объясняется большими потерями расхода и резким уменьшением скоростей выше по течению. Вследствие этого происходит выпадение наиболее крупных взвешенных частиц и почти полное прекращение движения влекомых наносов. Таким образом, причиной образования шалыг на Волго-Каспийском канале является изменение скоростного режима речного потока в определенном участке канала. Этот участок представляет собой своеобразный речной бар типа «россыпей», но весьма удлиненный. В зимние месяцы при ледоставе, здесь, так же как и на других участках речного бара, происходит размыв прорези канала. В это время боковые протоки обычно промерзают до дна и скорости течений у дна канала возрастают за счет увеличения расхода главного русла.

Режим течений средней части канала определяется стоком Волги и ветровым режимом. На направление течения в поверхностном слое оказывает влияние направление ветра. В придонном слое направление течения совпадает с направлением канала, т. е. не зависит от направления ветра. За бровками течение уже в значительной мере определяется ветром. Течения, направленные к дельте, бывают здесь очень редко, преимущественно на бровках и в поверхностном слое вод канала. Повторяемость и скорость течений, действующих перпендикулярно оси канала, мала (повторяемость — менее 1%, скорости — около 0,05 м/сек).

В половодье средняя скорость течения — 0,7—0,6, наибольшая —

1,67 м/сек (при ССЗ ветре). В этот период второй участок канала, так же как и первый, фактически представляет собой продолжение реки, почти с таким же режимом течений.

В межень средняя скорость течения в канале на втором участке — 0,42 м/сек. Течения за бровкой почти полностью определяются ветром. Скорости течения в канале в 2 раза больше, чем на бровках, в то время как на первом участке они в 3 раза большие.

Максимальная скорость течения наблюдается в поверхностном слое, минимальная — в придонном.

Режим течений в южной части канала — преимущественно морской. В поверхностном слое течение определяется режимом ветра, в придонном горизонте — влиянием стока Волги. Повторяемость южных (стоковых) течений в придонном слое составляло 65%, а в поверхностном — только 35%. Средние скорости стокового течения в период половодья на морском участке канала достигали 0,25—0,30 м/сек, в межень — около 0,20 м/сек. Под влиянием ветра скорости течения изменялись от 0,05 до 1,2 м/сек. Наименьшие из средних скоростей течения наблюдались на глубине 0,6 H, а наибольшие — в поверхностном слое.

Повторяемость течений на юг по длине Волго-Каспийского канала по материалам наблюдений в навигацию 1939 г. уменьшалась по мере удаления в море (табл. 31). Это совпадает с уменьшением скоростей течения и с увеличением влияния ветра.

Таблица 31

Повторяемость течения южного направления на Волго-Каспийском канале (по данным Центроморпросекта 1940 г.)

Горизонт измерения	Расстояние от Могильного бугра, км			
	14	40	65	87
Поверхность . . .	100	84	80	35
0,6 H . . .	100	91	90	65

В межень при штиле линия раздела стоковых и дрейфовых течений находится в районе 45—50 км от Оля. В половодье волжское течение проникает на 10—15 км дальше, чем в межень. При нагонных ветрах граница раздела стокового и дрейфовых течений смешается к северу на 15—20 км, а при сгонной — к югу. В штиль скорости стокового течения (по каналу) постепенно уменьшаются по длине канала и после 50 км от Оля достигают 0,10 м/сек.

Таким образом, на Волго-Каспийском канале выделяются три района резкого уменьшения скорости течения: между 8 и 12-м километрами канала (участок шалыг), при изменении направления канала и исчезновении забровочных островов между 45 и 51-м километрами (южнее о. Искусственного) и в конце канала.

Белинский канал. Белинский канал был сооружен в 1936 г. В придельтовой части канал заносится речными наносами. В настоящее время длина его (от 7-й Огневки) — 10 км, ширина — 35—45 м, глубина — 1,0—1,5 м, за бровками — 0,7—0,9 м. После половодья прорезь канала и прилегающая акватория интенсивно зарастает растительностью.

Режим течений в устьевом участке канала речной. Направление течения совпадает с направлением канала (180°).

Средняя скорость течения в начале половодья составляет около 0,6 м/сек, затем она увеличивается, достигая в пик 0,98, а максимальная — до 1,20 м/сек (табл. 32).

Таблица 32

Средние скорости течения (м/сек) в устье Белинского канала
(Каспморпроект, 1954 г.)

Дата	Средняя скорость течения	Дата	Средняя скорость течения
26 IV	0,61	18 VI	0,98
13 V	0,64	30 VI	0,76
19 V	0,76		
24 V	0,78	6 VII	0,66
8 VI	0,83	21 VII	0,57

Поскольку в половодье скорости течения в начале канала большие, то ветер почти не оказывает влияния на направление течения. Отмечается только некоторое уменьшение скорости при нагонных ветрах и увеличение — при стоянных.

Скорости течения в конце канала уменьшаются от лета к осени (табл. 33). Так, среднемесчная скорость течения уменьшалась с 0,39

Таблица 33

Скорости течения (м/сек) в Белинском канале у 12-й Огиневки
в 1954 г.

Месяц	VII	VIII	IX	X
Максимальная	0,68	0,53	0,52	0,33
Средняя	0,39	0,35	0,26	0,20
Минимальная	0,07	0,12	0,09	0,06

в июле до 0,20 м/сек в октябре. Максимальная скорость уменьшается от июля к сентябрю, что объясняется уменьшением стока и увеличением влияния нагонов. Обычно течение по каналу идет на юг, но под действием ветра может отклоняться от этого направления на 20—30° (табл. 34).

Таблица 34

Направление и скорость течения в Белинском канале (12-я Огиневка)
при различных ветрах (1954 г.)

Дата	Время наблюдения, час.	Ветер, м/сек	Течение	
			Направление, град.	Скорость, м/сек
25 VIII	8	СЗ—6	166	0,43
26 VIII	8	штиль	180	0,30
27 VIII	8	Ю—5	186	0,27

При ветрах от СВ до ЗЮЗ скорости в канале увеличиваются, а при ветрах от В до ЮЮЗ — уменьшаются. Следовательно, нейтральная линия для измерения скоростей стокового течения под действием ветра проходит с СВ на ЮЗ, т. е. это фактически линия, отделяющая направления стоянных ветров от нагонных.

В июне, июле и августе 1954 г. обратных течений (к дельте) в канале не было, а в сентябре и октябре при сильных юго-восточных и восточных ветрах наблюдались два случая обратных течений.

Таким образом, в Белинском канале как в половодье, так и в межень существует мощная и устойчивая струя речного течения, которая

сохраняет относительно большие скорости на расстоянии 12-ти км от морского края дельты (до 12-й Огневки).

На забровочном пространстве по мере удаления от морского края скорости течения в период половодья быстро уменьшаются. Направлено течение на юго-восток ($135-145^\circ$). Влияние ветра на течения большое. Обратные течения повторяются здесь чаще, чем в канале.

Скорости течения до $0,10 \text{ м/сек}$ у 12-й Огневки имеют повторяемость 83% и лишь в 17% всех случаев они были больше. Средняя скорость течения из 80 наблюдений в июне 1954 г. составила $0,08 \text{ м/сек}$. Максимальная скорость не превышала $0,25 \text{ м/сек}$.

Иголкинская бороздина. Иголкинская бороздина — наиболее крупная и после падения уровня Каспия — единственная судоходная бороздина для рыболовецких судов в восточной части взморья. После выхода на взморье воды Иголкинского банка проходят 10 км по каналу, а далее движутся по естественному руслу бороздины, протяженность которой около 50 км.

Наблюдениями ГОИНа в мае, июне и августе 1955 г. над течениями в Иголкинской бороздине установлено, что наличие канала на выходном участке Иголкинского банка препятствует очень резкому уменьшению скорости течения. Однако на 1-м километре канала в мае при расходе

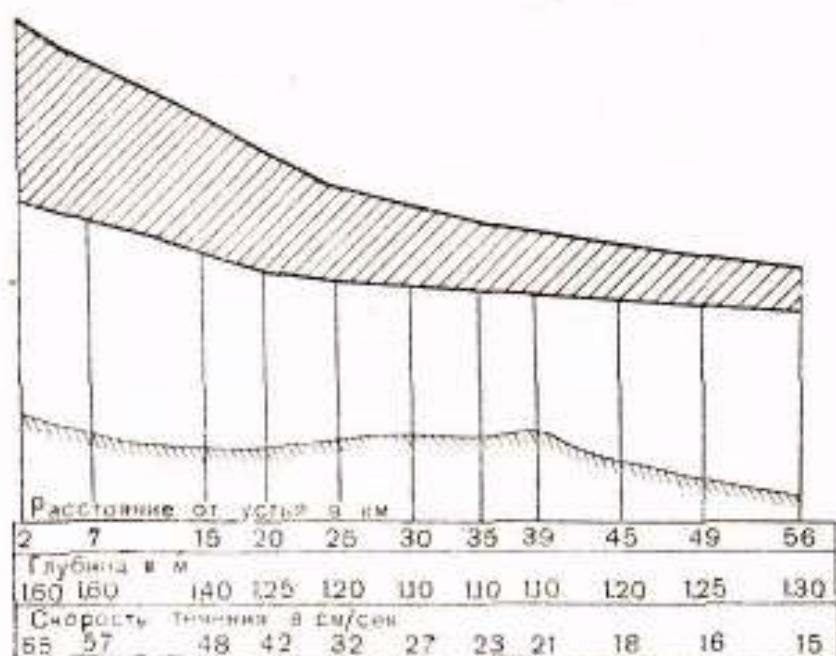


Рис. 23. Распределение скорости стокового течения вдоль Иголкинной бороздины.

в $65 \text{ м}^3/\text{сек}$ скорость падает с 1,0 до $0,80 \text{ м/сек}$, а через 50 км она равна всего $0,15 \text{ м/сек}$ (рис. 23). Скорость уменьшается вследствие постепенного расширения водного потока и уменьшения уклона водной поверхности. Относительно быстрое уменьшение скорости течения в бороздине наблюдается на 12—13-м километре, где водный поток, минуя о. Зейденок, начинает растекаться широким фронтом по мелководью.

На первых десяти километрах взморья в Иголкинскую бороздину втекают воды Мухинского, Мокринского, Овчинникова, Канычи и других банков и протоков. Поэтому расход воды на 10-м километре Иголкинской бороздины составляет почти $450 \text{ м}^3/\text{сек}$, т. е. увеличивается в 7 раз по сравнению с расходом в устье Иголкинского банка.

В пик половодья (июнь) расход воды в Иголкинском банке увеличивается до $80 \text{ м}^3/\text{сек}$. Скорости течения в это время в бороздине равны $0,80 \text{ м/сек}$ на 5 км и $0,20 \text{ м/сек}$ на 50 км. На мелководье рядом с бороздиной вследствие подъема уровня за счет речного стока скорости течения увеличиваются до $0,10$ — $0,13 \text{ м/сек}$.

В межень (август) скорость течения уменьшается до $0,50 \text{ м/сек}$ в верхней части бороздины и до $0,10 \text{ м/сек}$ в морской ее части. На мелководье вследствие бурного развития водной растительности и спада уровня скорости уменьшаются до $0,03$ — $0,05 \text{ м/сек}$. Течение направлено на юго-восток. При ветре более 5 м/сек развивается ветровое течение. В самой бороздине действие ветра на течения оказывается в меньшей степени (табл. 35).

Таблица 35

Течения в Иголкинской бороздине в межень (август 1955 г.)

Номер станицы	Штиль				Южный ветер 5 м/сек			
	Поверхность		Дно (1,1 м)		Поверхность		Дно (1,1 м)	
	Течение							
№	Направление, град.	Скорость, м/сек	Направление, град.	Скорость, м/сек	Направление, град.	Скорость, м/сек	Направление, град.	Скорость, м/сек
31	141	0,35	141	0,32	132	0,28	141	0,30
32	130	0,29	130	0,26	114	0,23	128	0,25
33	146	0,24	146	0,21	130	0,16	146	0,20
34	146	0,21	146	0,19	133	0,15	145	0,17

На участке в 3—6 км от морского края в бороздинах имеются шалыги. Здесь они образуются в результате резкого (от $0,3$ до $0,1 \text{ м/сек}$) уменьшения скоростей течения за колками водной растительности и отложения крупных наносов. Шалыги сильно препятствуют плаванию на этих участках, а иногда делают его совершенно невозможным даже для малых рыболовных судов. Основным способом борьбы с образованием шалыг является очищение от водной растительности придельтовых участков бороздин, особенно в мае—июне, т. е. в пик мутности волжских вод.

в) Схема стоковых течений на взморье в штиль

Ветер вносит значительные изменения в режим стоковых течений взморья, поэтому дать одну универсальную схему течений невозможно. Однако можно привести схему для преобладающего его направления в штиль. Схема течения на взморье при штиле дана на рис. 24. Так как ветер со скоростью до 3 м/сек практически не изменяет характера стокового течения на мелководье, то при составлении этой схемы в нее вошли наблюдения и при слабых ветрах. Скорости течений, указанные на этой схеме, соответствуют периоду половодья (расходу воды у Верхне-Лебяжьего около $28000 \text{ м}^3/\text{сек}$). При других расходах направление стоковых течений в штиль на взморье почти не меняется.

Как видно из схемы, на западе на первых 10—12 км от морского края дельты воды Бахтемира продолжают течь в виде сравнительно узкого потока, который южнее о. Вышка постепенно расширяется. Скорости течения уменьшаются. У западного берега течение направлено на юг и юго-юго-запад, т. е. вдоль берега. Основная масса вод проходит на юг по Лаганской бороздине (яме). Она служит основным руслом, по которому волжские воды поступают на взморье с западу от Волго-Кас-

пийского канала. Далее, к югу, поток направляется к о. Тюленьему, параллельно изобатам.

Другая часть вод Бахтемира идет по Волго-Каспийскому каналу в юго-юго-восточном и южном направлениях к о. Тюленьему.

Рукав Старая Волга сбрасывает свои воды между Волго-Каспийским каналом и Бабинской косой в Красинский култук. На удалении 3—5 км от морского края воды ряда протоков и ериков Старой Волги сливаются в один поток — Зюдевскую бороздину, являющуюся продолжением Зюдевского банка. Этот поток идет к югу, параллельно Волго-Кас-

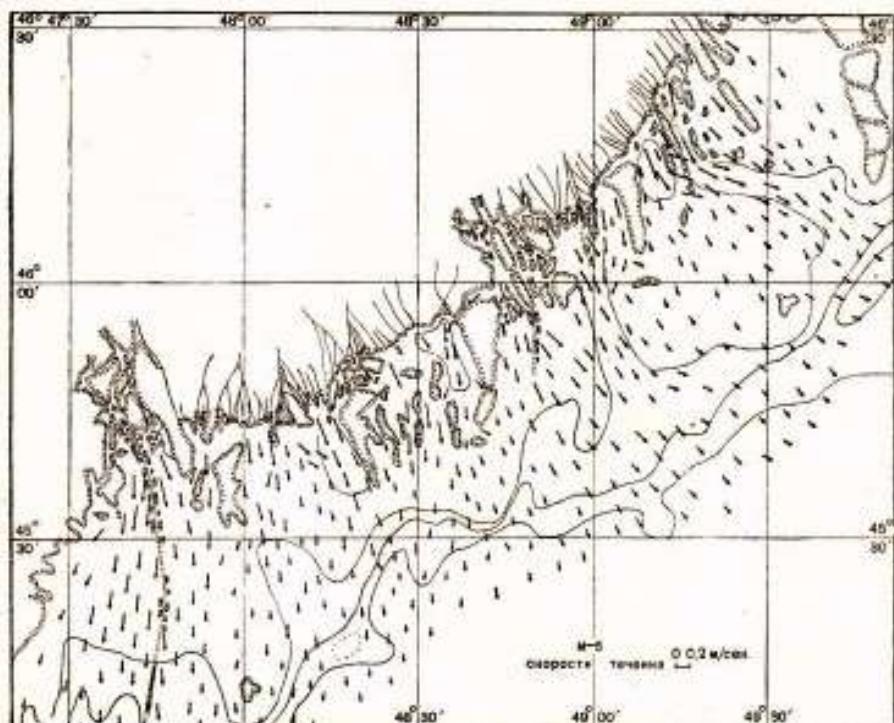


Рис. 24. Схема стоковых течений на взморье в штоль.

вийскому каналу, и выходит на свал глубин несколько юго-восточнее о. Чистая Банка. Воды протоков Чуллана, Бирюля вытекают в Сазаний култук. Под влиянием кос и островов они соединяются в одно общее русло — Житининскую бороздину (Грязнуху). В 30 км от морского края дельты Житининская бороздина оканчивается баром. Часть ее вод соединяется с водами Зюдевской бороздины, а часть растекается по мелководью к югу.

Далее, к востоку, на взморье поступают воды системы Иванчула и частично Бирюля. Основной банк здесь — Гандуринский. Продолжением его на взморье служит Гандуринская бороздина. Она собирает воды соседних ериков и протоков и направляет их на юг. На свал глубин эти воды выходят между косой о. Чистая Банка и банкой Средней Жемчужной. Здесь они изменяют свое направление с южного на юго-юго-западное.

Восточнее к Гандуринскому банку примыкает сильно разветвленная сеть Никитинского банка — главного западного протока Камызяка. Во-

ды Никитинского банка первые 4—5 км текут по Никитинской бороздине (каналу) на юг. Однако сосредоточенному выходу этих вод в море препятствует часть бара — Барская коса. Под ее влиянием часть под Никитинской бороздиной поворачивает к юго-западу и соединяется с водами Гандуринской бороздины, меньшая часть растекается по бару в южном и юго-восточном направлениях.

Основная часть вод Камызяка выходит в Каменскую яму через бани Рытый (Архиерейский), Обуховский, Дмитриев и др. На расстоянии 3—5 км от устьев воды этих банков соединяются в один общий поток и движутся по Каменской яме вдоль о. Галкина в юго-юго-восточном направлении.

На удалении 18—19 км от морского края, минуя подводную косу о. Дальнего Галкина с западной стороны, воды выходят на бар, где растекаются широким фронтом. Основная часть потока направляется на юг и выходит на свал глубин в районе осередка Дальнего Очиркина и бани Малой Ракушечной.

Западнее Каменской ямы на взморье сбрасываются воды из многочисленных ериков Кулагинского банка. Первые 3—5 км они идут на юг, а затем постепенно (под влиянием рельефа дна) изменяют свое направление сначала на юго-восток, а затем — почти на восток и вливаются в Каменскую яму.

Восточные протоки Камызяка — Белужья и Табола — выходят на морской край (Карапатский банк, банк Жеребец и др.) в районе островов Зюдева и Коневского. Вокруг этих островов многочисленные осередки образовали новую сушу, блокировавшую систему Карапатского и других соседних банков. Это привело к тому, что основная часть вод этих банков повернула на юго-запад и влиивается в северную часть Каменской ямы.

Таким образом, почти весь сток Камызяка, за исключением стока Никитинского банка, поступает в Каменскую яму (бороздину) и по ней выходит в район морского склона бара.

Часть вод Большой Болды поступает на взморье через бани Бардининский, Створинский, проток Тузуклей. Сток этих рек незначителен, и основная его часть сосредоточивается на взморье в Бардининской бороздине, проходящей между Карапатскими островами. Выходя на бар, в 25 км от морского края, этот поток быстро растекается. Другая часть вод Большой Болды через реки Трехизбинку и Белужью направляются в култук Староватажный, а затем — в Тишковскую яму. Большая часть вод, поступающих в Тишковскую яму, проходит через пролив между островами Седьмым и Верхним Сетным на ЮЮЗ и соединяется с водами Бардининской бороздины. Остальная часть их проходит между островами Средним и Нижним осередками на ЮВ — на взморье Белинского банка. Следует отметить, что район взморья от Каменской ямы до Белинского канала — самый слабопроточный на всем взморье Волги.

Воды Белинского банка, продолжением которого на взморье является Белинский канал, направляются на юг. К западу от канала, между Морской косой и Белинским каналом, воды из Горбошиной протоки сначала идут параллельно каналу, но по мере удаления от морского края постепенно изменяют свое направление на юго-юго-восточное. Воды, выходящие из Белинского канала, в районе 12-й Огневки изменяют свое направление на юго-юго-восточное, а на баре — на юго-восточное.

Восточнее Белинского банка расположены водотоки системы Бузана. Часть вод Бузана сбрасывается на взморье по Карайскому банку. Выходя из него, первые три километра они направляются по каналу вдоль Карайской косы. За окончанием косы основная часть этого потока попо-

рачивает на юго-восток, выходит за бровку канала и идет почти параллельно каналу. В Карайский же канал поступают воды с западной стороны забровочного пространства. Воды Рычана, Кирсановского и др. банков сначала несколько километров проходят по взморью самостоятельными струями, затем постепенно объединяются в один поток. Огибая с востока о. Зюйдостинский, этот поток вливается в Карайскую бороздину (Хасан), являющуюся продолжением Карайского канала, и через 10—12 км выходит в открытое взморье. Здесь течение направлено на ЮЮВ. Примерно в 30 км от морского края воды Карайской бороздины объединяются с водами Белинского банка в одно общее течение на ЮВ.

Воды Васильевского, Григорьевского, Карапенка и других рек, выходящих между о. Красинского и о. Блиновская Коса, первые 6 км движутся на ЮЮВ по небольшой бороздине вдоль Красинского полуострова. Южнее этот поток под влиянием подводной косы о. Хохлатинского отклоняется вправо и его воды вливается в Хасан. Таким образом, и здесь, на участке взморья между островами Зюйдостинским и Блиновская Коса, происходит объединение водных потоков нескольких банков в один.

Воды ериков и протоков, расположенных между р. Лебяжьей и Иголкинским банком на взморье в 4—6 км от своих устьев, сливаются в один поток — в Овчинникову бороздину, направленную на ЮЮВ. Через 7—8 км этот поток делится на две части. Большая часть вод направляется на юго-восток и соединяется с водами Иголкинской бороздины. Воды меньшей части потока продолжают двигаться на юг, постепенно расходясь по обширному мелководью.

В Иголкинскую бороздину — основную в восточной части взморья — на первых десяти километрах от морского края втекают воды Мухинского, Мокринского, Канычи и других банков, расположенных к востоку. Течение их имеет юго-восточное направление. Между о. Новинским и банкой Укатной этот поток вод выходит на глубины. Таким образом, Иголкинская бороздина собрала почти весь сток левой части системы Бузана. Восточнее Иголкинской бороздины в обширном култуке Телячинском стокового течения почти нет.

Из схемы стоковых течений в штиль видно, что волжские воды на взморье делятся на два основных потока. Первый от западной части дельты направляется вдоль западного берега на ЮЮЗ до о. Тюленьего и далее до Аграханской Косы. Второй идет от восточной части дельты на ЮВ в восточную часть Северного Каспия. Границей раздела этих двух потоков служит о. Морская Коса и его подводное продолжение — Тишковская Коса, вытянувшаяся к югу на 19 км. Здесь же, в центральной части взморья, располагается область слабых стоковых течений. Эти два потока волжских вод хорошо прослеживаются и по распределению солености вод в Северном Каспии.

По величине скоростей течения все мелководное взморье можно разделить на три зоны: первая — прилегает к морскому краю дельты, вдоль него чередуются участки с большими и малыми скоростями течения; вторая — морской бар, с малыми скоростями течений, и третья — южнее бара с большими скоростями дрейфовых течений.

Наблюдения над течениями взморья показали, что, несмотря на то, что наибольшие скорости отмечаются в поверхностном слое, стоковое течение устойчивое в придонном слое. Поверхностный слой наиболее подвержен влиянию ветра.

За морским баром устойчивее всего течение в промежуточном слое (0,6Н), потому что на поверхностный слой влияет ветер, а на придонный — градиентные течения.

г) Влияние ветра на стоковые течения мелководного взморья

Влияние ветра по мере удаления от морского края дельты в море становится все значительнее. Однако, так как мелководное взморье изобилует подводными и надводными косами, осередками и островами, вытянувшимися на десятки километров от морского края дельты в море, то сплошного ветрового дрейфа водных масс не создается.

Крупные каналы и бороздины с большими скоростями стоковых течений также препятствуют развитию дрейфовых течений.

На обширных мелководьях между бороздинами при скорости ветра более 5 м/сек направление течения совпадает с направлением ветра. Скорости этого течения незначительны из-за малых глубин (0,3—0,5 м)

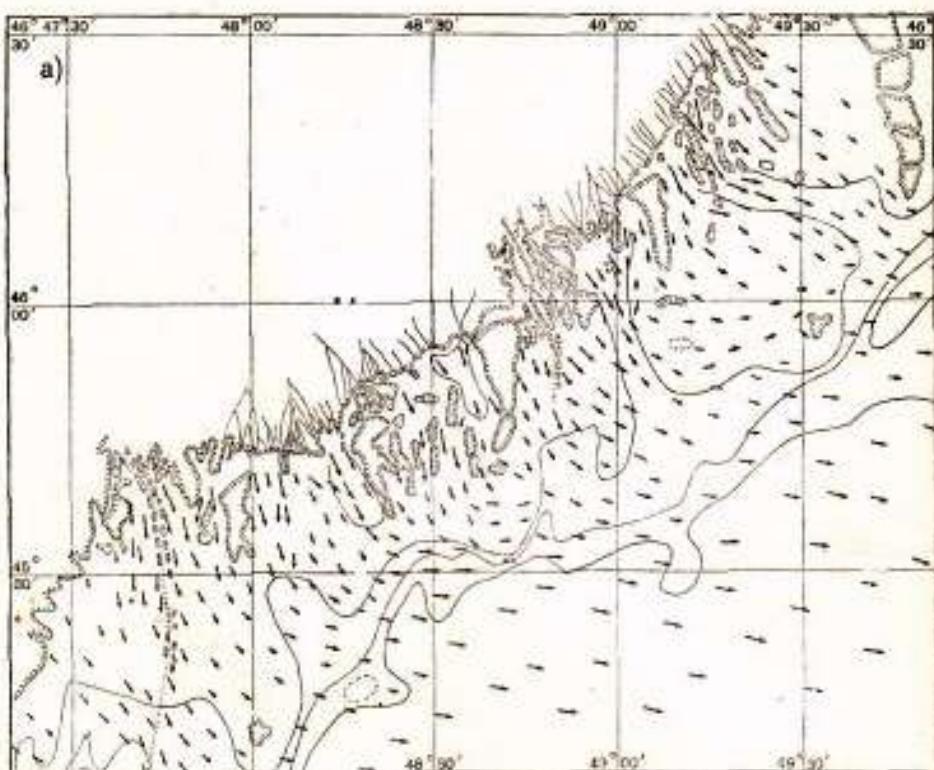


Рис. 25а. Схема стоковых течений на взморье при западном направлении ветра.

и почти сплошных зарослей водной растительности. Даже при ветрах 8—10 м/сек скорость течения здесь не превышает 0,12—0,14 м/сек.

В каналах и бороздинах непосредственное действие ветра на течения оказывается меньше, чем на мелководье. При северных северо-западных и северных ветрах направление течения совпадает с направлением ветра, а скорость течения увеличивается. Нейтральный юго-западный ветер скорости стокового течения почти не изменяет, а направление его в поверхностном слое отклоняет на 10—15° влево. Нейтральный северо-восточный ветер отклоняет течение на 10—20° вправо.

При нагонных восточных и юго-восточных ветрах скорость течения в поверхностном слое уменьшается, а направление его отклоняется вправо

до 60°. В придонном слое направление течения остается прежним, т. е. совпадает с направлением канала или бороздины. Поэтому в этом случае в бороздине (канале) имеется два водных потока: верхний — широкий — ветрового происхождения и нижний — узкий — стоковый.

До 1955 г. не было материалов наблюдений, достаточных для составления схем течений мелководного взморья при различных направлениях ветра. В 1955 г. ГОИН выполнил на взморье в различные фазы половодья ряд нормальных к морскому краю дельты гидрологических разре-

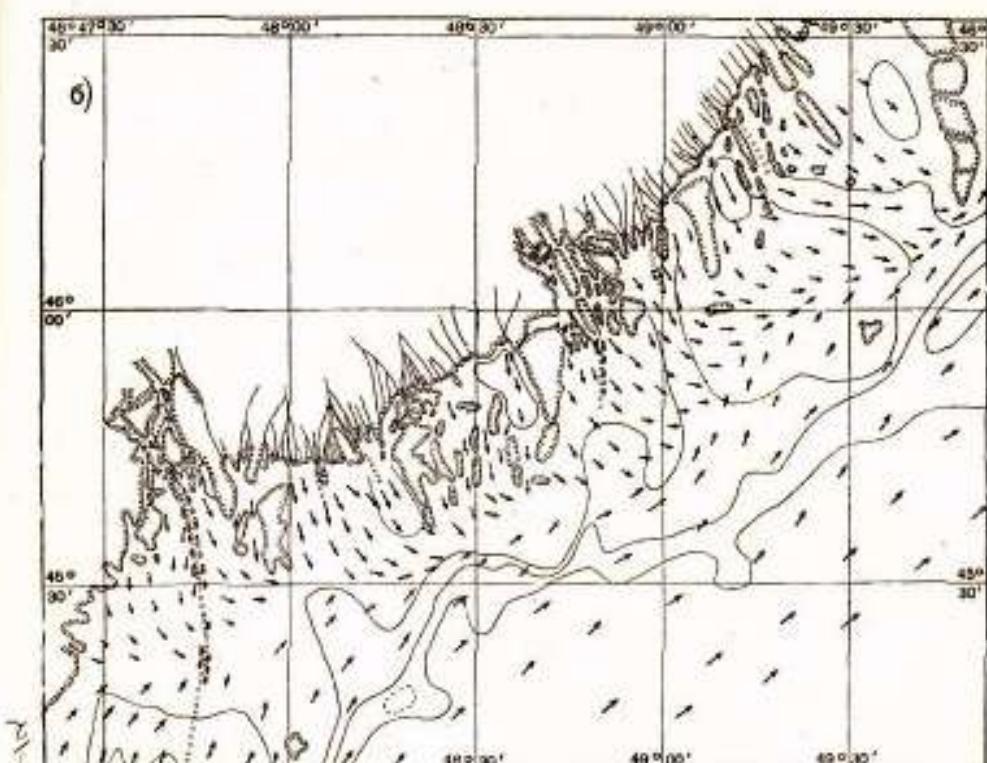


Рис. 25б. Схема стоковых течений на взморье при юго-западном направлении ветра.

зов при различных направлениях ветра. На основании полученных данных и имеющихся наблюдений за предыдущие годы, главным образом по Волго-Каспийскому и Белинскому каналам, оказалось возможным составить схемы течений мелководного взморья для периода половодья при различных направлениях ветра и скоростей от 4 до 10 м/сек. При северном и северо-западном ветрах направление дрейфового течения совпадает с направлением стокового течения в штиль.

При западных ветрах (рис. 25а) в култучной части взморья направление стокового течения не изменяется. Южнее, в 12—15 км от морского края, оно постепенно отклоняется к югу-востоку, причем в бороздинах это отклонение происходит на несколько километров южнее, чем на остальной акватории. На морском баре течение направлено почти по ветру, а южнее бара несколько отклоняется вправо — на восток — юго-восток. Относительное распределение скоростей такое же, как и при северо-западном ветре, однако за баром в этом случае скорости еще большие.

Южные и юго-западные ветры (рис. 25б) не изменяют направления

стокового течения в културной зоне. Несколько южнее этой зоны течение постепенно отклоняется к востоку. Таким образом, волжские воды поступают в северо-восточную часть Северного Каспия. Южнее морского бара эти ветры вызывают дрейфовое течение на северо-восток. На баре сходятся стоковое течение с севера и дрейфовое — с юга и юго-запада. В зоне конвергенции отмечаются очень малые скорости течения (0,02—0,05 м/сек), и направлено оно чаще всего вдоль бара на северо-восток. Перед крупными бороздами и каналами взморья эта линия смещается несколько к югу под влиянием более сильных стоковых течений. На мелководной же акватории между бороздами, где стоковое течение слабое, она приближается к дельте.

Юго-восточный ветер (рис. 25а) также вызывает схождение на баре стокового (с севера) и дрейфового (с юго-востока) течений. В западной части взморья течение следует на юг, вдоль западного берега.

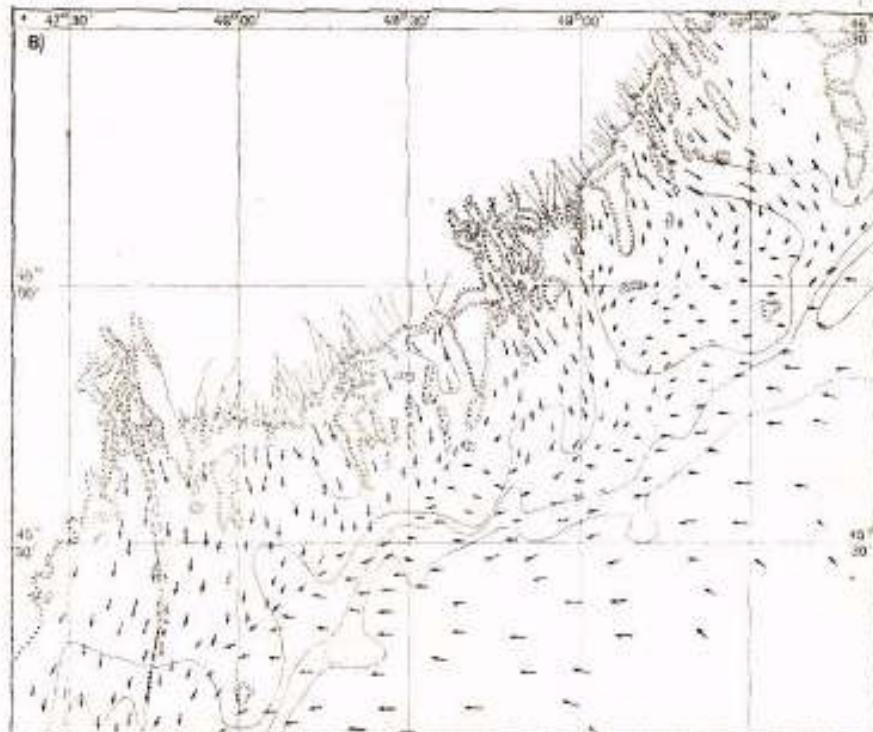


Рис. 25 а. Схема стоковых течений на взморье при юго-восточном направлении ветра.

Дрейфовое течение, развивающееся на взморье южнее бара, в районе о. Чистой Банки и банки Малой Жемчужной под влиянием рельефа постепенно меняет свое направление с западного на юго-западное.

В зависимости от скорости ветра зона схождения течений может смещаться к югу или северу. При юго-восточном ветре волжская вода в поверхностном слое движется вдоль бара на ЗЮЗ, а затем вдоль западного берега моря к югу. При сильном ветре в придонном слое существует течение от бара на юг и юго-восток.

Зона схождения течений при восточных и северо-восточных ветрах (рис. 25с) наблюдается также в районе морского бара, однако она ме-

нее резко выражена, чем при юго-восточном ветре. Течения в зоне схождения имеют наименьшие скорости, а к северу и югу от этой зоны они увеличиваются.

При всех направлениях ветра, кроме северо-западного и северного, на взморье существует зона схождения стокового и дрейфового течений. Местоположение этой зоны почти не изменяется. Поскольку скорости течений в этой зоне наименьшие, здесь происходит осаждение взвешенных напосов, поступающих со стороны дельты и со стороны моря. По-

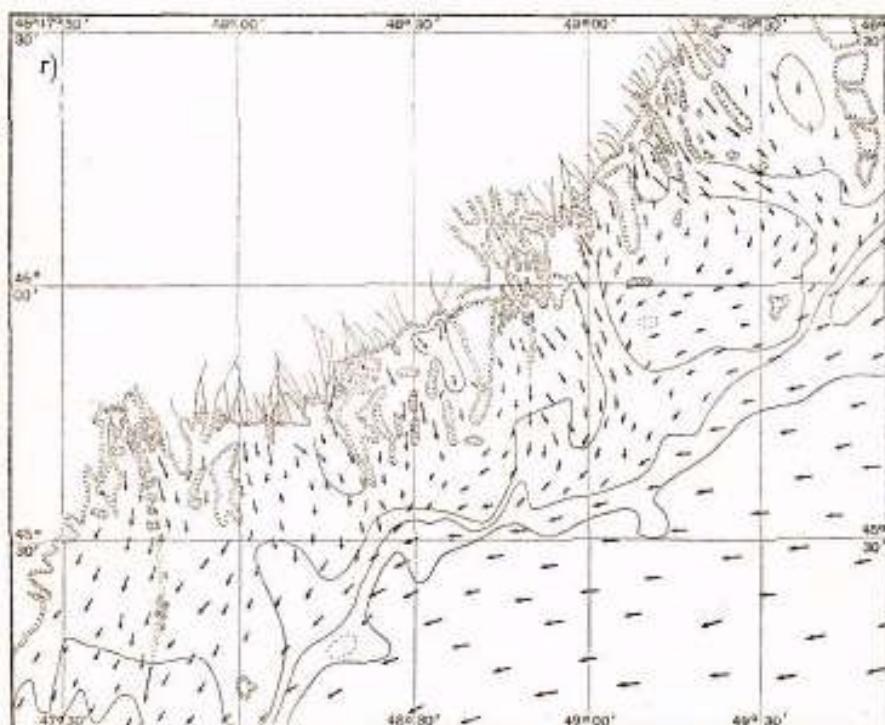


Рис. 25 г. Схема стоковых течений на взморье при восточном направлении ветра.

этому существование морского бара на взморье можно объяснить наличием здесь зоны схождения стокового и дрейфового течений.

д) Течения взморья в период ледостава

В нормальные и суровые зимы к концу декабря на взморье устанавливается ледяной покров. Ветер в этот период непосредственного влияния на течения взморья не оказывает, но, воздействуя на открытую водную поверхность в южной части Северного Каспия, вызывает незначительные колебания уровня на взморье и тем самым воздействует на его подледные течения. В основном же течения взморья и в этот период определяются стоком Волги, который в среднем составляет $2800 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Наблюдений над подледенными течениями взморья очень мало. Первые наблюдения за течениями подо льдом в восточной части взморья произвел Н. Н. Горский в 1934 г. По этим наблюдениям течение подо льдом в районе Новинских островов направлено на юго-восток со скоростью 0,02—0,03 м/сек. Аналогичные наблюдения Астраханской экспедиции Гидроподтранса в районе Волго-Каспийского канала в 1939 г.

показали, что подледные течения в западном районе взморья отличаются большим постоянством и направлены преимущественно на юг, т. е. вдоль Волго-Каспийского канала (табл. 36).

Таблица 36

Повторяемость течений (%) в период ледостава на Волго-Каспийском канале у о. Искусственного в 1939 г. (по данным Союзморпроекта)

Пункт наблюдения	Январь			Февраль		
	ЮВ - ЮЗ текущия	Остальные направле- ния теке- ния	Отсут- ствие сто- как*	ЮВ - ЮЗ текущия	Остальные направле- ния теке- ния	Отсут- ствие сто- как*
Восточная бровка	70,3	3,2	26,8	48,7	14,7	36,6
Поверхность	90,4	9,6	—	89,3	7,1	3,6
Канал Средний горизонт	93,6	6,4	—	96,4	—	3,6
Дно	93,6	6,4	—	92,8	3,6	3,6
Западная бровка	74,2	12,9	12,9	84,7	8,6	8,7

* Здесь приведены случаи нагонов, когда стоковое течение к югу прекращается.

В январе средняя скорость течения на восточной бровке не превышала 0,07 м/сек, однако наибольшая скорость достигала 0,54 м/сек. На западной бровке в январе средняя скорость была 0,11 м/сек, а наибольшая — 0,28 м/сек. Средняя скорость течения на акватории с западной стороны канала была в 2 раза больше, чем с восточной. Это объясняется существованием больших мелководных пространств, прилегающих к восточной стороне канала, и образованием на мелководье торосистых полей и стамух, уменьшающих скорости течения. В канале скорости течения почти в 4 раза превосходили скорости за бровками канала. Наименьшие скорости течения в канале наблюдались в поверхностном слое (вследствие трения о ледяной покров); наибольшие — в срединном слое; ко дну скорости уменьшались. Средняя скорость в поверхностном слое составила 0,29 м/сек, в средине — 0,39 м/сек, а у дна — 0,36 м/сек. Наибольшие скорости достигали соответственно 0,46, 0,68 и 0,56 м/сек. В феврале скорости течения были еще меньше.

е) Течения на мелководном взморье при нагонах и сгонах

Сгонно-нагонные явления на взморье Волги, вызванные непосредственным воздействием ветра на водную поверхность взморья, обусловливают своеобразие режима течений в этом районе. Если сгонно-нагонные колебания уровня взморья происходят вследствие воздействия ветра на поверхность моря, удаленную от взморья, режим течений на мелководном взморье изменяется мало. Однако в большинстве случаев взморье и весь Северный Каспий одновременно подвергаются воздействию ветра одного и того же направления. Заметное повышение уровня на взморье начинается при скорости нагонного ветра выше 3—4 м/сек. В културной полосе взморья шириной 10—15 км, прилегающей к морскому краю дельты, обратных течений (к дельте) при обычных нагонах, вызываемых ветрами со скоростью 5—12 м/сек, как в половодье, так и в межень не наблюдается. Развитию таких течений в этом районе препятствует стоковое течение. Южнее полосы, где кончаются острова и подводные косы мелководного взморья, на обширных мелководных пространствах между бороздами нагонный ветер создает в половодье и в межень течение по своему направлению во всей толще воды. В северной части этих районов происходит стык стокового течения, имеющего направление в море, с

ветровым течением, направленным к дельте. Вследствие схождения этих течений здесь отмечается наибольший на взморье подъем уровня при нагоне.

При штормовом ветре, например в ноябре 1952 г., когда скорость нагонного ветра достигала 28 м/сек (повторяемость таких штормов менее 2%) на всем мелководье, включая и културную зону, в поверхностном слое вызывается ветровое течение к дельте, а в придонном слое — градиентное противотечение. Возникновение противотечения у дна становится возможным при подъеме уровня на взморье на 0,5—1,0 м, вследствие чего создается значительный гидростатический градиент.

В бороздинах и каналах течения к дельте в половодье не наблюдалось ни в 1955 г., ни в предыдущие годы, что объясняется наличием здесь больших уклонов, скоростей стоковых течений и отсутствием в эти годы сильных и штормовых ветров.

Нагонные ветры в половодье в зависимости от их силы и продолжительности уменьшают скорость стокового течения, особенно в поверхностном слое (табл. 37).

Таблица 37

Скорости течений в бороздинах взморья Волги при нагонном ветре в 1955 г.

Место наблюдения	Дата	Время, час, мин.	Расстояние от дельты, км	Глубина места, м	Ветер, м/сек	Скорость течения, м/сек	
						Поверхность	Дно
Каменская яма . . .	27 V	8.30	18	1,40	Ю—4	0,42	0,48
	27 V	12.00	18	1,60	Ю—9	0,23	0,26
Карайская бороздина .	27 VI	14.00	20	1,10	Ю—2	0,23	0,10
	27 VI	18.00	20	1,00	Ю—4	0,19	—
Иголкинская бороздина	20 V	9.00	26	0,76	штиль	0,27	0,24
	20 V	15.00	26	0,82	Ю—3	0,23	0,23
	20 V	20.00	26	0,90	Ю—5	0,20	0,21
Каменская яма . . .	22 VI	22.00	15	1,10	Ю—5	0,13	—
	23 VI	1.00	15	—	Ю—2	0,18	—
	23 VI	8.30	15	—	СВ—2	0,27	—

В межень в каналах и бороздинах в связи с уменьшением уклонов и скоростей стокового течения при сильных нагонных ветрах (8—10 м/сек) происходит смена направления течения на обратное. Так, например, по

Таблица 38

Изменение направления и скорости стокового течения у 12-й Огневки Белинского канала 5—7 октября 1954 г.

Часы	20	8	14	20	8	14	20
Направление течения, град. . . .	178	186	196	256	306	316	346
Скорость, м/сек	0,21	0,17	0,11	0,06	0,06	0,07	0,08

данным наблюдений у 12-й Огневки Белинского маяка [94] 5—7 октября 1954 г. при ветре ВЮВ 6—9 м/сек в поверхностном слое совершался постепенный поворот течения по ходу часовой стрелки (табл. 38). Течение к дельте продолжалось около 10 час. Для создания обратного течения ветру этого направления при скорости 6—9 м/сек потребовалось более 2 суток.

По данным наблюдений Гиприводтранса за 1938 г., можно проследить изменение скоростей течения при нагоне вдоль Волго-Каспийского канала. При нагоне 9—11 ноября 1938 г. при ветре ЮВ—В 10—12 м/сек пик уровня наблюдался при максимуме скорости ветра (10 октября). В это время по всей длине канала до д/к «Донбасс» в придонном слое скорость стокового течения была в 2—3 раза больше, чем в поверхностном.

Разрушение длинной волны нагона начинается с ее тыловой части на взморье при сильном ослаблении нагонного ветра и перемещается от д/к «Донбасс» к дельте. В связи с этим смещаются к дельте участок наибольшего уклона на взморье и обусловленные им максимальные скорости течения. Поэтому наибольшие скорости течения при спаде нагона наблюдаются сначала у д/к «Донбасс», затем у о. Искусственного (центральная часть канала), а в конце спада уровня участок наибольших скоростей течения доходит до морского края дельты (15-я Огневка). Аналогичная картина течений отмечается при других сильных нагонах.

Данные наблюдений 1955 года показали, что на морском склоне бара при штиле или слабом ветре в поверхностном слое скорости стокового течения значительно больше, чем у дна. При нагонном ветре вследствие воздействия силы тангенциального давления ветра на водную поверхность скорость течения в поверхностном слое постепенно уменьшается и в большинстве случаев после 56-часового действия ветра становится близкой к нулю. Обратное течение, т. е. течение к дельте, не обнаружено.

Наиболее резкому уменьшению скорости течения в поверхностном слое (до 0,03 м/сек при скорости ветра 6 м/сек) способствует изменение направления ветра на юго-восточное, поскольку такой ветер направлен по нормали к морскому краю дельты, т. е. почти прямо противоположен направлению стокового течения.

В результате уменьшения скорости стокового течения уровень на взморье повышается. Так, на г/м станции а. Чистая банка за 15 час. уровень взморья повысился на 33 см. Вследствие этого увеличился горизонтальный градиент гидростатического давления, направленный в сторону моря и вызвавший градиентное течение у дна.

При дальнейшем изменении направления с юго-восточного на восточно-северо-восточное, т. е. с приближением его к нейтральному направлению, скорости течения на поверхности увеличиваются, а у дна уменьшаются и сравниваются с поверхностными.

Аналогичное изменение течения при нагонных ветрах наблюдалось на других гидрологических суточных вертикалях. В пик нагона в придонном слое отмечаются наибольшие скорости течения, поскольку скорость стокового течения совпадает по направлению и складывается со скоростью возникающего градиентного течения.

В межень стоковое течение в этом районе слабое. Поэтому в ноябре уже через 10 час. действия нагонного восточного и юго-восточного ветров в поверхностном слое течение совпадает с направлением ветра, т. е. направлено к дельте, а у дна развивается градиентное противотечение. При ослаблении ветра происходит смена направлений течения на обратное в поверхностном слое и уменьшение скорости у дна.

Несколько иначе изменяются скорости течения при восточном ветре в западной части взморья, где при развитии нагона направление течения не изменяется. Так, например, в начале нагона 29—30/X 1955 г. на станции I скорости, как и при обычном стоковом течении, в поверхностном слое были больше, чем у дна. С дальнейшим повышением уровня скорости на поверхности уменьшались, а в придонном слое увеличивались и в пик нагона (при ветре в 8 м/сек) и в начале спада уровня

они были больше у дна, чем в поверхностном слое. При дальнейшем спаде происходило обратное явление, т. е. поверхностная скорость увеличивалась, а придонная уменьшалась. В штиль вновь поверхностная скорость оказалась больше, чем придонная. Направление течения здесь мало меняется, потому что при восточном ветре по-прежнему происходит отток вод на юг вдоль западного берега.

Необходимо отметить своеобразный режим течений в начале нагона и в период спада нагона в районе бороздин и каналов взморья, из которых вследствие подпора при нагоне воды растекаются в забровочные пространства.

В период затухания нагонного ветра уровень в бороздинах падает быстрее и оказывается ниже, чем на окружающем взморье. Это обуславливает приток вод с мелководья в бороздину.

При стоках в период половодья на мелководном взморье между бороздинами скорость течения сначала увеличивается на всех горизонтах, а после 8—10-часового сильного сгонного ветра она резко уменьшается, и течение фактически прекращается. Это объясняется уменьшением при сгоне глубины с 0,5—0,7 до 0,2—0,3 м. Речная вода из дельты в это время стекает только по бороздинам и углублениям и не успевает компенсировать убыль (сгон) вод со взморья. Так, при сильном северо-северо-западном ветре со скоростью 8 м/сек сгон 22/V 1955 г. создал течение, скорость которого по всему сечению была 0,20 м/сек. После 10-часового воздействия ветра она уменьшилась до 0,09 м/сек при той же скорости ветра. Уменьшение скорости течения при неизменном ветре объясняется тем, что в начале стока большие скорости течения поддерживаются стоком Волги и оттоком в море «собственных» вод взморья. После 9-часового сгона ветер становится воде со взморья, течение становится слабым, поскольку оно поддерживаются только стоком Волги.

Сгон воды в межень с мелководья происходит вследствие меньшего стока Волги быстрее, чем в половодье. Объем сгоняемых вод взморья также меньше. Поэтому часто при сильных стоках большие участки бара и мелководья совсем обсыхают. Так, например, в апреле 1953 г., по наблюдениям Н. П. Гонтарева, сильный северо-западный ветер вызвал понижение уровня более чем на 0,4 м и осушение значительной части мелководья. То же наблюдалось и в августе 1955 г. на середине Хохлатинском, когда северо-северо-западный ветер за 7 час. согнал с середка всю воду слоем около 0,5 м.

В бороздинах при сгонах скорость течения сначала резко увеличивается, а затем, по мере развития стока, несколько уменьшается. В период сгона наиболее резко проявляется различие между скоростями течения в бороздине и на мелководье. Если в бороздинах они после 6—8-часового сгона несколько больше, чем в штиль, то на мелководье в 300 м от бороздины скорости в 3—4 раза меньше (с 0,18—0,15 м/сек падает до 0,04—0,06 м/сек). Направление течения при стоках совпадает с направлением ветра. В отличие от нагона, когда градиентное течение всегда выражено на склоне морского бара, при сгоне оно не наблюдается. Придонные скорости несколько уменьшаются. Отсутствие компенсационного течения у дна при сгоне объясняется противодействием стокового течения, мелководьем взморья и его большой шероховатостью, а также малыми горизонтальными градиентами гидростатического давления, вызываемыми сгонными ветрами.

На склоне морского бара при сгоне направление течения совпадает с направлением ветра, а скорости течения во всей водной толще почти одинаковы. Наибольшая наблюденная скорость здесь была в 1955 г. и оказалась равной в придонном слое при нагоне 0,43, а при сгоне 0,26 м/сек.

Значительная повторяемость и продолжительность нагонов, увеличивающих скорости течения в придонном слое, указывает на их преобладающую роль в транспортировке наносов взморья.

ж) **Периодические течения на взморье, вызываемые бризами**

Бризы, не распространяясь далеко в море, оказывают заметное влияние на уровни и течения в прибрежных зонах. Н. А. Белинский [11], наблюдая правильную смену течений на взморье Днепра, считает, что смена течений, по-видимому, объясняется правильной сменой бризовых ветров. В июле—августе 1952 г. нами также наблюдалась смена течений и колебания уровня моря под воздействием бризовых ветров в проливе Тонком (Геническ). Правильные суточные колебания уровня в Азовском море тоже связаны с бризами [43].

Выделение бризовых ветров для Каспийского моря впервые было произведено А. А. Каминским [52]. Особенно сильно они оказались развитыми в западной части Северного Каспия в летний период.

На взморье дельты Волги бризовые ветры наиболее заметны с июня по август, когда наблюдается максимальный суточный ход температуры воздуха на взморье. В этот период вочные и дневные часы существует наибольшая разность между температурами воды взморья и подстилающей поверхности дельты и прилегающих к ней участков суши. На западном побережье взморья, а также к востоку от дельты подстилающей поверхностью служат песчаные почвы, сильно нагревающиеся днем. Вследствие этого наибольшее развитие бризы получили в западной и восточной частях взморья. В центральной части взморья бризы развиты слабо, так как в июне—июле прилегающая к морю часть дельты покрыта волжской водой.

Из непосредственных наблюдений над ветрами по трем-четырем срокам не всегда удается выделить бризовый ветер. При бризах наибольшая скорость ветра должна наблюдаться в 1 и 13 час., однако максимум отмечается только один — в 13 час. (табл. 39).

Таблица 39
Среднемесячные скорости ветра (м/сек) по четырем срокам по наблюдениям на гидрометстанциях взморья

Пункт	Лето	Срок наблюдения			
		1	7	13	19
ст. Лагань	VII 1940	3,2	3,8	5,6	3,4
о. Чистая Банка	VI 1954	4,9	6,0	7,2	5,3
	VI 1955	4,3	5,1	5,8	4,5
о. Тюлений	VI 1955	4,2	5,8	6,9	5,1
о. Жесткий	VI 1955	2,6	3,7	4,4	2,5
ст. Брянская Коса	VII 1955	2,4	4,3	6,3	6,2

В полночь бывает слабый ветер. Причиной этого является, по-видимому, наличие преобладающего над Северным Каспием общего переноса воздушных масс в северо-западном направлении. В 13 час. направление бризового ветра совпадает с направлением общего потока, и скорость ветра увеличивается. В 1 час ночи направление бризового ветра противоположно направлению общего потока, и скорость уменьшается или наблюдается штиль.

Поскольку точность определения скорости и направления ветра по флюгеру невелика, то лучше выделять бризы по суточному ходу раз-

ности температур воздух—вода или колебанию уровня, который «чувствует» реагирует на все изменения скорости и направления ветра.

На изморье дельты Волги при определенных метеорологических условиях бризы оказывают существенное влияние на периодическую смену течений и правильные суточные колебания уровня воды со средними амплитудами от 0,05 до 0,30 м даже 0,40 м (рис. 26).

Таблица 40

Бризовые изменения течений и уровня 21 и 22 июня 1955 г. в районе Каменской пмы

Дата	21 VI												22 VI											
	Часы	1	5	7	8	12	18	19	24	1	5	7	13	19	1	5	7	13	19	1	5	7	13	19
Направление течения, град.	175	180	—	241	302	314	—	182	—	184	178	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Скорость течения, м/сек	15	10	—	8	6	5	—	13	—	14	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Уровень по п.п.о. Чистая Банка, см	80	—	62	—	77	—	83	—	80	—	74	76	81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Период колебания уровня равен в среднем 24 час. Отмеченная величина бризового колебания уровня более значительна по сравнению с

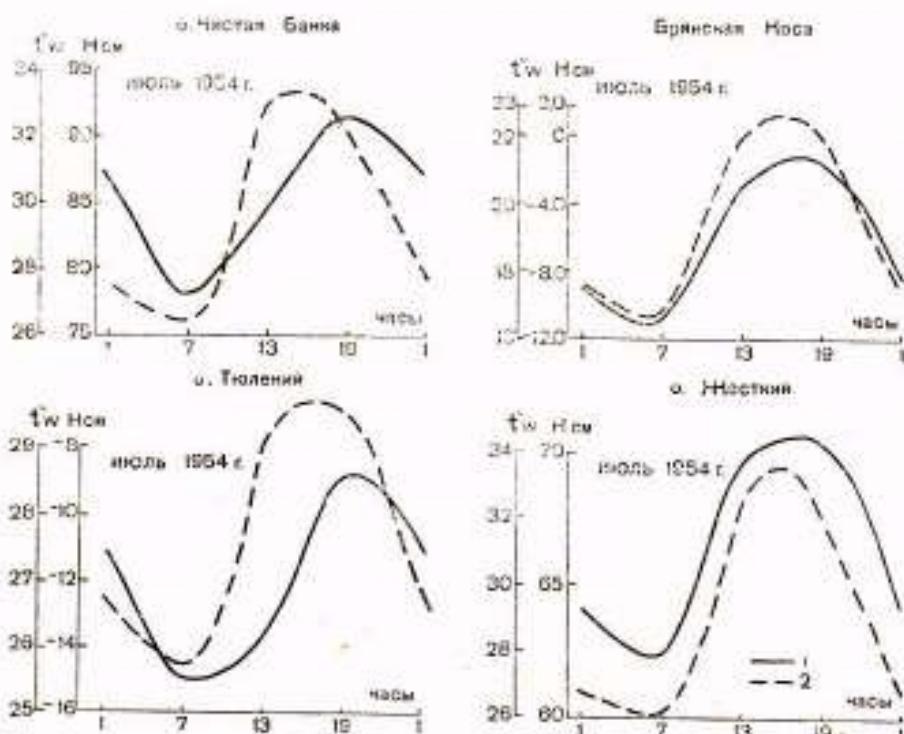


Рис. 26. График среднемесячной величины суточного хода уровня и температуры воды на станциях изморья в июле 1954 г.
1 — уровень, 2 — температура воды.

приливными колебаниями, достигающими в Каспийском море всего 3 см. Не создают правильных постоянных периодических колебаний уровня и сейши. Они в Северном Каспии быстро затихают после прекращения

действия вынуждающей силы вследствие большого течения на мелководном заросшем взморье.

Бризовые колебания уровня взморья происходят независимо от общего подъема или падения уровня от действия ветров, дующих над другими районами Каспия. Они также хорошо согласуются с колебаниями разности температуры воздуха и воды. Однако характерные точки кривой колебания уровней несколько сдвинуты. Наименьший уровень за сутки при бризах бывает в 6—8 час., т. е. близко к моменту суточного

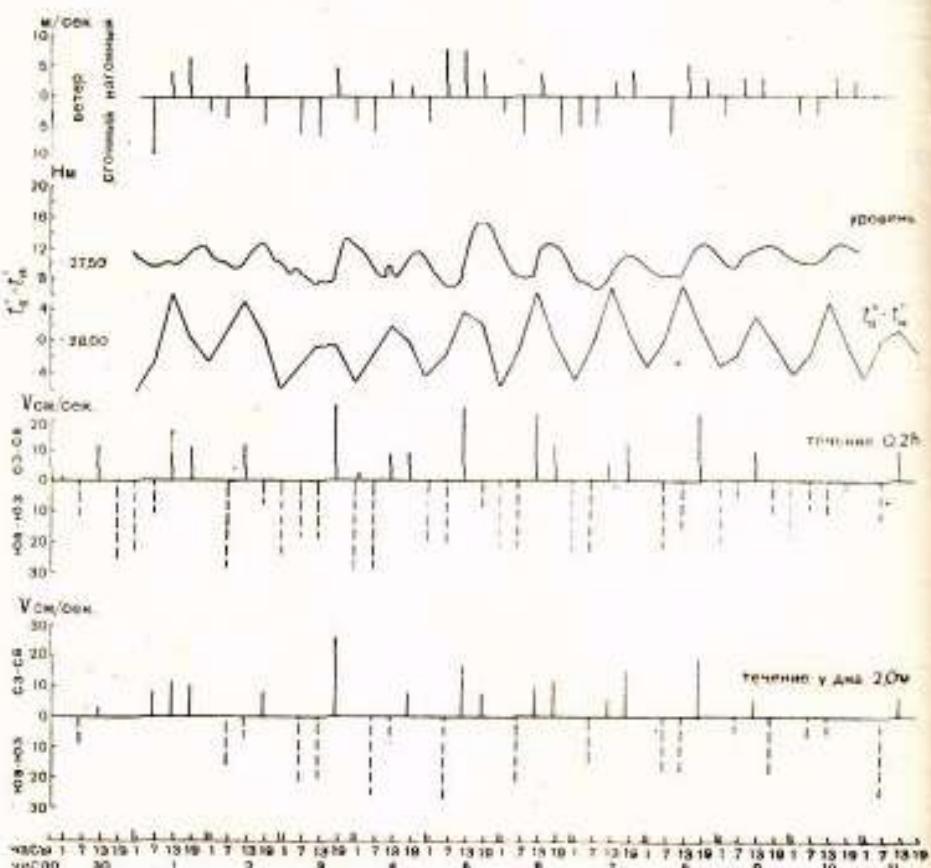


Рис. 27. Изменение уровня и течений на взморье дельты Волги в июле 1940 г.

минимума температуры воды (рис. 27), наивысший — несколько позднее суточного максимума температуры воды (в 18—19 час.). Поскольку дневной бриз дует почти против стокового течения, то он уменьшает скорость течения, изменяет его направление и повышает тем самым уровень воды. Ночной бриз дует с суши на море, усиливая течение и понижая уровень взморья (табл. 40 и 41).

При резко выраженному бризе направление течения воды дважды в сутки меняется на противоположное. Максимальная скорость течения при морском бризе соответствует середине подъема уровня. Наибольшая скорость течения при береговом бризе должна приходиться на середину спада, примерно на 1 час ночи.

В 7 и 19 час. разность температур воздух — вода близка к нулю, бризовые ветры прекращаются и направление течений меняется. Вечером и

суточный пик уровня происходит смена течения с нагонного на стоянное, а в суточный минимум, наоборот, — со стоянного на нагонное. Но в последнем случае вследствие совпадения по направлению стокового и стоянного течений направление движения вод взморья может не меняться на обратное, а только несколько отклоняться от прежнего. При этом уменьшается и скорость течения.

Смена течения от поверхности постепенно распространяется ко дну, поэтому, когда в поверхностном слое уже произошла смена направления течения на обратное, у дна еще продолжается течение прежнего направления.

Скорости течения при одних и тех же отметках уровня в период суточного минимума уровня оказываются в разные дни почти одинаковыми. Так, при отметке — 27,60 скорость была равна 0,22 м/сек, а при отметке — 27,45 равна 0,25 м/сек.

В центральной части взморья близовые течения выражены слабее. Средняя скорость их у 12-й Огневки Белинского канала в 7 час. равна 0,29, в 13 час. — 0,22 м/сек, а к ночи она опять усиливается. Подобное изменение скоростей течения наблюдалось в Иголкинской и Карайской бороздинах.

Близовый характер ветра изменяет режим течения не только на взморье, но и в канале, где стоковое течение более сильное.

Таблица 41

Суточный ход скорости течения (м/сек) в Волго-Каспийском канале у 15-й и 24-й Огневок за июль 1938 г.

Горизонт	Часы		
	7	13	19
15-я Огневка			
Поверхность	0,30	0,28	0,23
0,5 H	0,27	0,26	0,21
Дно	0,25	0,22	0,20
24-я Огневка			
Поверхность	0,18	0,17	0,13
0,5 H	0,15	0,15	0,13
Дно	0,15	0,14	0,12

Морской бриз, повышая уровень взморья и уменьшая скорость стокового течения, влияет на уровень и скорость течения в рукавах дельты. Вследствие выполнивания уклона уменьшаются скорости течения и повышается уровень в выходных участках водотоков. Это явление было отмечено еще Аполловым в 1930 г. [22]. По наблюдениям на водострую Белинский маяк в июне 1952 и 1953 гг. средний уровень в 7 час. оказался на 6 см ниже, чем в 19 час.

Режим периодических колебаний уровня и течений взморья оказывает влияние на сортировку и перемещение наносов, суточную миграцию фито- и зоопланктона и рыб. В летний период при малых барических градиентах периодические колебания уровня необходимо учитывать при краткосрочных прогнозах уровня в районах Волго-Каспийского и Лаганского каналов. Отмеченный выше суточный ход уровня позволяет судоводителям выбирать наиболее удобное время для прохождения судов по каналу в районах лимитирующих глубин.

3. Дрейфовые течения

а) Течение глубоководной части взморья и предустьевого пространства моря

На взморье Волги поверхностное течение представляет собой геометрическую сумму дрейфового, стокового и градиентного течений. Вследствие этого статистический метод обработки материалов (метод Пальмейна) не позволяет получить реальную схему течений. Поэтому для составления схем был выбран новый метод. Сначала все наблюдения на многосуточных станциях при определенных ветрах наносились на миллиметровку в виде векторов течений (на трех горизонтах) и ветра. Затем выбирались по румбам все наблюдения при устойчивых ветрах продолжительностью более 8 час. Направления течения при устойчивом ветре отличались в каждом пункте в различные сезоны года от среднего направления при определенном ветре не более чем на $8-10^{\circ}$. По полученным для каждого пункта наблюдений векторам течений были построены

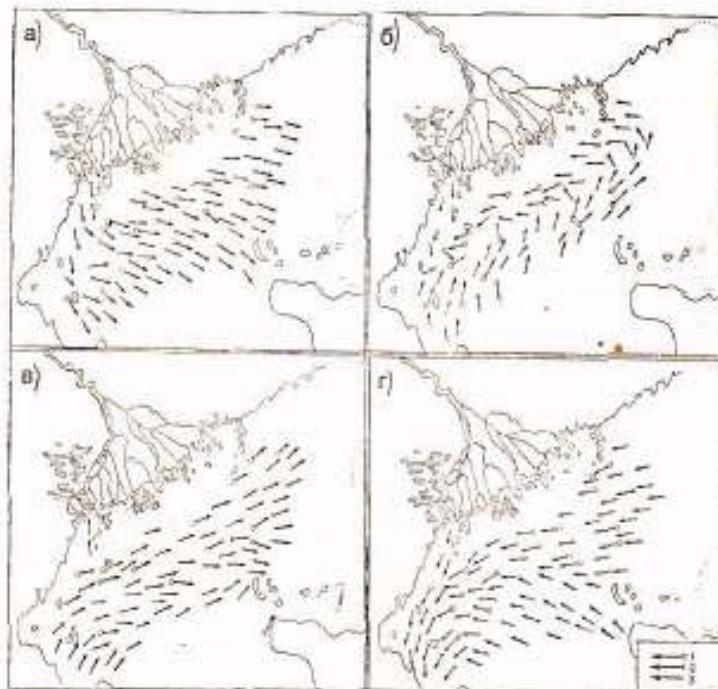


Рис. 28. Схемы течений в поверхностном слое западной части Северного Каспия при ветрах: а — западном, б — юго-западном, в — юго-восточном, г — восточном.
1 — по многосуточным; 2 — по односуточным, 3 — по единичным наблюдениям.

отдельно для каждого из 8 основных румбов схемы течений (рис. 28). На схемах дается только направление течений, так как в зависимости от скорости ветра скорость течения будет различной.

Используя данные о повторяемости ветров на взморье и имея направление течений для всех восьми румбов, можно дать предполагаемую повторяемость течений каждого направления. Так как ветры Северного

Каспия имеют хорошо выраженный сезонный ход, то повторяемость течений определенных направлений, указанных на схемах, также имеет сезонный ход. В летний период, особенно в июне—июле, перенос вод с западной в восточную часть взморья и обратно примерно одинаков. В марте—апреле, и особенно в ноябре, повторяемость течений, направленных в западную часть взморья, почти в 3 раза больше, чем повторяемость обратных течений.

В итоге за год преобладает перенос вод вдоль морского края дельты в западную часть взморья и далее к югу — в западную часть Среднего Каспия.

Этот вывод подтверждается непосредственными наблюдениями над течениями взморья. По данным, обработанным Горским [29], оказалось, что из 6571 наблюдения над течениями в 1935—1936 гг. в Северном Каспии повторяемость направления течений на запад в полтора раза больше, чем на восток. Примерно к такому же выводу приходит и Б. Л. Лагутин (1955), который дает среднюю повторяемость направления течений в Каспийском море, исходя из повторяемости направлений ветра.

Наблюдения над течением у Станционара № 3 в 1954 г. показывают, что в период навигации также преобладает перенос вод в западную часть взморья (табл. 42).

Таблица 42

Повторяемость (%) направления течений со скоростью более 0,10 м/сек в период навигации 1954 г. у Станционара № 3 (по данным Касиморпроекта)

C	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
4,1	9,0	4,1	4,4	7,6	11,2	5,0	4,6

Преобладание течений в период навигации в западную часть взморья по всему предустьевому пространству моря дает основание предполагать о существовании компенсационного переноса, направленного в восточную часть Северного Каспия. Эта компенсация может осуществляться двумя путями. При юго-восточном ветре в восточную часть Северного Каспия воды могут поступать через южную часть разреза о. Жесткий — о. Кулалы, а при устойчивых ветрах северо-восточной четверти — с придонным компенсационным течением.

Благодаря малым глубинам водные массы не имеют большой инерции (кроме северо-восточных и юго-западных течений), поэтому дрейфовые течения прекращаются через 1—2 часа после прекращения ветра, затем начинает преобладать градиентное течение, определяемое положением уровня. Повторяемость встречных ветру течений оказывается довольно значительной (9%). Иногда эти течения имеют большие скорости. При штиле более чем в 50% случаев течение отсутствует или скорость его бывает менее 0,04 м/сек.

В результате сгонов и нагонов часто градиентные течения преобладают над дрейфовыми и направлены против ветра. Некоторые исследователи [69, 85] предполагали, что вследствие мелководности Северного Каспия, направление течения поверхностного и глубинного слоев совпадает. Однако данные наблюдений показывают, что в Северном Каспии очень часто направление поверхностного течения намного отличается от направления придонного течения, а иногда даже прямо противоположно первому. При нагонном юго-восточном ветре в центре взморья течение в поверхностном слое направлено на северо-запад, а придонное — на юго-восток. Компенсационное придонное течение при нагоне достигает

своего наибольшего развития в среднем через 22—24 часа после начала действия ветра. При сгонном северо-западном ветре течение в поверхностном слое направлено на юго-восток, а в придонном — в западной части — на северо-запад, а в восточной — на северо-восток. При центральных ветрах, например северо-восточном, придонное противотечение не возникает. Так, в июне 1954 г. при сильном северо-восточном ветре в течение трех суток противотечение у дна не наблюдалось.

Материалы наблюдений на многосуюточных станциях показывают значительную сложность развития дрейфовых течений во времени в зависимости от ветра. Скорость дрейфового течения на взморье Волги зависит от скорости и направления ветра, его продолжительности, от глубины места, рельефа дна и удаленности района от берега.

Для Каспия существует зависимость скорости поверхности дрейфового течения от скорости ветра:

$$V = K \cdot w \text{ и } V = K \cdot w + b,$$

где V — скорость течения в м/сек, w — скорость ветра в м/сек, K — ветровой коэффициент, b — свободный член.

Коэффициент K у разных авторов имеет различную величину. Так, например, Н. Н. Струйский [91], по наблюдениям четырех плавмаяков, расположенных в районах с разной глубиной и в различном удалении от берега, получил коэффициент, равный 0,015. Скорость течения измерялась поплавками Митчеля с разносом в 2 м. Для средней широты Каспия Зенин получил $K=0,020$.

Так как эти коэффициенты выведены по несравнимым между собой данным по направлению ветра, глубине и удаленности от берега, то их применение к конкретным условиям взморья дает значительную ошибку в определении скорости дрейфового течения. Увеличение количества исходных данных приводит к несколько отличной величине K . Так, коэффициент K , вычисленный нами по данным 2500 наблюдений над течениями в центральной части взморья (Стационар № 3 и многосуюточные станции), оказался равным 0,027, т. е. почти в 2 раза больше, чем у Струйского.

В действительности же скорость течения даже в 60—80 км от берега зависит от направления ветра, т. е. для различных направлений ветра скорости течений при одной и той же скорости ветра оказываются различными (табл. 43). Наибольшие скорости течения при одной и той же

Таблица 43

Зависимость скорости течения (м/сек) от направления ветра на предустьевом взморье Волги (Стационар № 3)

Скорость ветра, м/сек	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
5	0,13	0,17	0,14	0,08	0,10	0,15	0,12	0,12
8	0,25	0,30	0,23	0,14	0,12	0,28	0,21	0,23

скорости ветра отмечаются при северо-восточном и юго-западном ветрах, когда течение направлено вдоль морского края дельты и избывает взморье. Однако скорость юго-западного течения несколько больше скорости северо-восточного течения. Это объясняется тем, что во втором случае, в восточной части создается нагон уровня, который несколько уменьшает скорость течения. При смене направления ветра иногда еще долго сохраняется прежнее направление течения. В этих случаях наибольшая скоп-

рость течения наблюдается при его направлении по нейтральной линии (табл. 44).

Таблица 44

Максимальные скорости течения (м/сек) у Стационара № 3 при различных направлениях течения (IV—XI 1954 г.)

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
0,18	0,41	0,39	0,28	0,28	0,54	0,25	0,26

Скорость течения зависит также и от продолжительности действия ветра. Часто при одной и той же скорости ветра наблюдаются различные скорости течения. Например, на пятисуточной станции III в 1954 г. при ветре с ВСВ со скоростью 11 м/сек скорость течения через 15 час. была 0,22 м/сек, а через 28 час. — 0,33 м/сек.

б) Течения района свала глубин

Район свала глубин служит южной границей предустьевого взморья дельты Волги. Он представляет полосу взморья шириной 8—12 км, где глубины резко увеличиваются от 4 до 12 м. Здесь же наблюдается стык распредненных вод взморья с солеными водами Каспийского моря. Поэтому зона свала глубин характеризуется большими горизонтальными и вертикальными градиентами солености и плотности воды.

Гидрологические и морфологические особенности этой зоны создают здесь специфический режим течений. В этом районе, помимо таких факторов, как сток Волги, ветер, градиент давления, вызванный сгонами и нагонами, на течения должны оказывать влияние рельеф дна и градиенты плотности воды.

Однако материалов гидрологических наблюдений по этому району оказалось очень мало, поэтому в 1955 г. по программе ГОИНа Волжская устьевая станция (ВУГМС) произвела специальные наблюдения над течениями. Сделано пять гидрологических разрезов, перпендикулярных свалу глубин, с пятью вертикалями на каждом разрезе (рис. 19). Для того, чтобы проследить, изменяется ли режим течений в зависимости от стока Волги, наблюдения на одних и тех же разрезах производились в начале половодья, на пике и в межень. Всего было выполнено 75 станций. Кроме того, в центральной части взморья на свале глубин была трижды выполнена пятисуточная станция (в начале половодья, в пик и в межень). На всех станциях измерялись, помимо течений, и другие гидрологические и метеорологические элементы. Анализ полученных материалов на разрезах, произведенных в 1955 г., и данных периодических наблюдений в другие годы показал, что течение в районе свала глубин обусловливается главным образом ветром, создающим в первую очередь дрейфовые течения. После прекращения ветра вследствие измененных уклонов водной поверхности возникает градиентное (компенсационное) течение. Влияние стока Волги на течение этого района невелико. Малым оказалось и значение плотностного течения. Но на распределении скорости течения по вертикали, помимо влияния ветра, оказывается изменение плотности воды с глубиной — наличие слоя скачка.

Стоковые течения на свале не прослеживаются, поскольку скорости их очень малы, по сравнению со скоростями постоянно действующих здесь дрейфовых и градиентных течений. Даже в период штиля, повторяющийся в году которого не более 6%, стоковые течения не обнаруживаются, так как после прекращения ветра длительное время действует

«остаточное» течение. При расходе Волги в половодье 30 000 м³/сек, ширине взморья по линии свала 280 км и средней глубине на разрезе 4 м, средняя скорость стокового течения на свале глубин оказывается равной 0,03 м/сек. В межень она должна быть не более 0,01 м/сек. Скорости же остаточного (инерционного компенсационного) течения здесь всегда бывают больше этой величины.

До глубины 3—4 м, при одинаковой плотности воды по вертикали, дрейфовые течения при сильном ветре (8—10 м/сек) охватывают всю толщу воды в одном направлении и скорость течения по вертикали уменьшается незначительно.

При больших градиентах плотности воды у дна при сгонно-нагонных ветрах в придонном слое образуется противотечение. При нейтральных сильных ветрах, например при ветрах северо-восточного направления, изогалины перед свалом глубин располагаются вертикально; придонного противотечения в этом случае нет.

На свале глубин, в большинстве случаев наблюдается резкое изменение плотности главным образом за счет изменения солености воды по вертикали.

Ниже слоя с резким изменением солености при любом направлении ветра всегда на свале глубин возникает градиентное течение, противоположное по направлению дрейфовому течению, развивающемуся в поверхностном слое, т. е. слой резкого изменения солености всегда служит границей раздела противотечений по вертикали. В этом случае противотечения по вертикали создаются даже при глубинах взморья в 3,5—4,0 м. Поэтому противотечение на таком взморье чаще всего бывает в межень, так как в этот период здесь располагается зона стыка морских и речных вод с наибольшими горизонтальными градиентами солености.

В поверхностном слое направление течения в зависимости от направления ветра может быть любым. В придонном слое течение в большинстве случаев направлено вдоль изобат, т. е. вдоль свала глубин, что обуславливается влиянием рельефа дна.

При установившемся ветре направление течения чаще всего совпадает с направлением ветра. Наблюдения показали, что сила Кориолиса здесь почти не оказывается. Это хорошо согласуется с теоретическими выводами К. Н. Федорова [96]. За свалом, с увеличением глубины до 12 м, сила Кориолиса влияет на направление течения сильнее, отклоняя поверхностное течение на 15—25° вправо. Таким образом, свал глубин служит естественной границей заметного действия силы Кориолиса на течение.

Обычно скорость течения в поверхностном слое почти в 2 раза больше, чем в районе взморья с глубинами в 3 м, где нет резкого изменения плотности воды по вертикали. Таким образом, над свалом глубин располагается зона максимальных поверхностных скоростей течения взморья. Уменьшение скоростей по вертикали происходит в слое значительного изменения солености весьма резко. При наличии такого слоя энергия ветра передается в основном не всей толще воды, а только массе воды, расположенной над этим слоем. В этом случае трение о дно оказывается мало. Южнее свала глубин, где слой резкого изменения солености нет, скорости поверхностного течения меньше, так как здесь глубины больше и в движение вовлекается весь слой воды.

При прекращении продолжительного сильного западного ветра скорость дрейфового течения за свалом глубин затухает медленнее, чем на взморье, где трение о дно больше. Особенно медленно затухает течение над слоем резкого изменения солености воды.

На взморье часто наблюдалось течение, направленное против ветра. Иногда оно было только в поверхностном слое, а иногда охватывало

весь слой. Например, продолжительный северо-северо-западный ветер 5/VI уменьшил свою скорость с 9 до 2 м/сек. В поверхностном 3-метровом слое наблюдалось течение, направленное против ветра, а в слое ниже 5 м и до дна течение направлялось на юго-восток. Наибольшая скорость течения была у дна. Течение в поверхностном слое является градиентным и вызвано наклоном уровня. После ослабления ветра воды взморья, согнанные им, вновь возвращаются обратно.

Течение против ветра, охватывающее весь слой, наблюдалось 4/VI при ветре с В—ВЮВ со скоростью 5 м/сек. Скорость течения в этом случае достигала 0,10 м/сек.

Градиентное течение возникает не только вследствие прекращения действия ветра, но и в результате неравномерного распределения ветра на акватории Северного и Среднего Каспия. Над западной и юго-западной частью Северного Каспия ветры оказываются намного сильнее, чем в центральной части, т. е. существует поперечная неравномерность ветра, создающая разность уровней и обуславливающая в центральной части взморья и на свале глубин градиента течения против ветра.

При сильных сгонных ветрах на свале глубин возникает компенсационное придонное противотечение. Это можно проследить по материа-

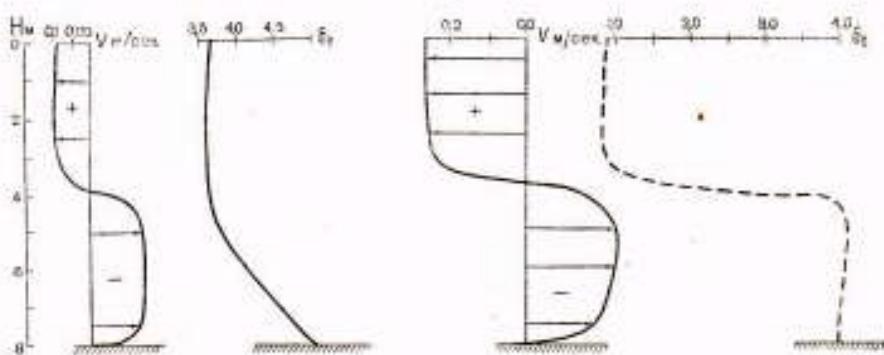


Рис. 29. Изменение скорости течения и плотности воды на свале глубин при гоне. Плюс — течение от дельты, минус — к дельте.

лом наблюдений на станции VII в 1955 г. 4—6 июня (рис. 29), когда сильный северо-западный и западный ветер достигал 12 м/сек. В начале действия ветра в поверхностном слое течение развивалось на юг, а ниже 3,5 м существовало противотечение на ССВ. Через 14 час. скорость течения в поверхностном слое увеличилась с 0,10 до 0,30 м/сек, а в придонном слое противотечения достигла 0,19 м/сек.

Наибольшие скорости дрейфового течения на взморье наблюдаются на свале глубин даже при отсутствии слоя резкого изменения солености. Такая закономерность также была подмечена Ржеплинским [85] и Штокманом [104] для других свалов глубин Северного и Среднего Каспия.