

Глава VII

МУТНОСТЬ И ПРОЗРАЧНОСТЬ ВОДЫ

Мутность воды на предустьевом взморье Волги отличается большой изменчивостью и зависит от стока Волги, от волнения, глубины, развития и распределения водной растительности на взморье.

Имеющиеся материалы, большая часть которых была собрана во время экспедиционных работ ГОИНа в 1954—1955 гг., позволяют относительно подробно охарактеризовать основные особенности в распределении мутности.

На взморье Волги существуют три основные генетические группы взвешенного вещества: а) взвесь, выносимая волжскими водами (частицы смыва); б) взвесь, поднимаемая со дна волнением и течением (частицы взмучивания); в) взвесь, образуемая на взморье планктоном.

По твердому стоку Волги наиболее полные данные можно найти у И. В. Самойлова [89], который считает, что в первом приближении годовой объем твердого стока пропорционален водному стоку. Для среднемноголетнего стока Волги у Сталинграда в $256,5 \text{ км}^3/\text{год}$ (1881—1953 гг.) среднемноголетний сток взвешенных наносов будет составлять 25,5 млн. тонн, а средняя мутность равна $98 \text{ г}/\text{м}^3$. Распределение твердого стока по сезонам таково: зима — 2, весна — 70, лето — 22 и осень — 6%.

Сток влекомых наносов равен примерно 2,5 млн. тонн в год, т. е. около 10% от стока взвешенных наносов.

Результаты наиболее точных наблюдений над взвешенными наносами, поступающими в дельту, получены в последние годы Волжской устьевой станцией (табл. 67).

Современный годовой сток взвешенных наносов для В. Лебяжьего в среднем составляет 12,5 млн. тонн, колеблясь от 8,0 до 17,0 млн. тонн.

В году бывает два минимума и два максимума мутности. Первый минимум со средней мутностью $5\text{--}10 \text{ г}/\text{м}^3$ наблюдается в летне-осеннюю межень (VIII—IX). Второй, с мутностью $1\text{--}2 \text{ г}/\text{м}^3$, — в декабре—январе. В октябре—ноябре отмечается максимум со средней мутностью $20\text{--}35 \text{ г}/\text{м}^3$. Наибольший максимум мутности ($100\text{--}160 \text{ г}/\text{м}^3$) приходится на апрель и май.

Распределение твердого стока по главным рукавам дельты (в%) несколько отличается от распределения водного стока. В восточную часть дельты уходит 45,5% водного стока и 51,5% твердого стока Волги, причем средняя мутность равна $66 \text{ г}/\text{м}^3$.

В западную часть дельты уходит 54,5% водного стока и 48,5% твердого стока; средняя мутность равна $51 \text{ г}/\text{м}^3$. Относительное увеличение среднегодовой величины мутности в рукавах восточной части дельты

объясняется тем, что в эти рукава поступает большая часть водного стока Волги в период половодья, когда мутность максимальная. Различное поступление твердого стока в отдельные рукава обуславливает его не-

Таблица 67

Характеристика стока взвешенных наносов в створе В. Лебяжье

Год	Водный сток	Сток взвешенных наносов, млн. тонн	Среднегодовая мутность, г/м ³
1949	218	7,5	34
1950	223	11,0	49
1951	217	14,0	61
1952	215	9,2	43
1953	250	13,5	54

равномерное распределение по морскому краю дельты. Ветер, вызывая волнение и течение, а также изменение уровня, оказывает значительное влияние на количество взвешенных частиц в воде взморья. Взвешивание частиц со дна взморья зависит от величины скорости придонного течения и степени волнения. По данным Б. А. Скопинцева [90], грунты Северного Каспия начинают взмучиваться уже при скоростях придонного течения 0,05—0,08 м/сек. Согласно П. К. Божичу [16], интенсивное взвешивание донных грунтов на взморье Волги в районе 82-го км Волго-Каспийского канала происходит при скоростях течения 0,20—0,25 м/сек. На взморье можно выделить следующие районы пространственного распределения величин мутности и прозрачности вод в штилевую погоду: 1 — каналы и бороздины взморья, имеющие максимальную мутность в течение летнего периода от 250 до 20 г/м³, которая зависит от твердого стока Волги и удаленности от морского края дельты; 2 — обширное мелководье между бороздинами и морской бар, где вследствие слабых течений и сильно развитой растительности величина мутности незначительна и колеблется в пределах 10—40 г/м³; 3 — огромные култуки (Тишковская яма, кулдук Телячинский и др.) с мутностью 5—25 г/м³ и небольшими ее сезонными изменениями, что объясняется малым поступлением в них стока, проходящего по сильно заросшим ерикам; 4 — свал глубин, где величина мутности, в основном, определяется режимом волнения.

Таблица 68

Твердый сток в устье Белынского банка по наблюдениям 1954 г.

Дата	Средняя скорость течения, м/сек	Средняя мутность, г/м ³	Твердый расход, кг/сек
26 IV	0,41	53,1	7,59
7 V	0,47	197,8	33,43
13 V	0,64	187,2	31,3
19 V	0,76	141,6	31,4
24 V	0,78	109,6	25,8
8 VI	0,83	97,8	27,0
30 VI	0,76	53,9	11,7
6 VII	0,66	25,4	4,7
21 VII	0,57	15,2	2,1

Мутность вод, поступающих на взморье, подвержена сезонным изменениям, совпадающим с ходом мутности речных вод (табл 68).

Минимум мутности (3—5 г/м³) наблюдается в марте. С повышением уровня в апреле мутность начинает резко увеличиваться. Максимальные величины ее наблюдались в мае (230—320 г/м³).

Данные механического анализа взвешенных наносов показали, что крупность частиц 0,5—0,25 мм составляет 0,3%, от 0,25 до 0,05 мм — около 25%, от 0,05 до 0,01 — около 38% и менее 0,01 мм — 36%. Крупность влекомых наносов равна 0,25—0,05 мм (90% состава).

Влекомые наносы и некоторая часть взвешенных наносов оседают на речном баре (рис. 3). Основная же часть взвешенных наносов, поступающих на взморье в период половодья, выносятся по бороздинам и каналам за пределы мелководной зоны взморья. Согласно М. В. Федосову [98], волжские воды в половодье выносят на взморье много частиц коллоидального размера (менее 1 м), которые затем разносятся течением по всему Северному Каспию.

Одной из характерных особенностей мелководного взморья является наличие в период половодья широких полос чистой «профильтрованной» воды между мутной белесоватой водой банков и ериков («подсвежкой»). Полосы профильтрованной воды располагаются по течению ниже островов и кос взморья. Длина этих полос достигает 10 км и более, а ширина колеблется от 30 до 500 м. Полосы являются результатом прохождения волжских вод сквозь заросли тростника, рогоза и других водных растений на островах и косах взморья, залитых водою. Проходя сквозь заросли, волжская вода «осветляется», оставляя здесь минеральные и органические взвеси, которые и дают вертикальный прирост придельтовых островов и кос. Границы между подсвежкой и профильтрованной водой очень резкие, особенно в период подъема уровня. Так, например, если в Иголкинской бороздине в мае мутность равнялась 92 г/м³, а прозрачность — 0,15 м, то на расстоянии 12 м от о. Дальнего, в полосе чистой воды, мутность равна 23 г/м³, а прозрачность 1,0 м. В августе с падением уровня взморья полосы профильтрованной воды исчезают. Как показали наблюдения, скорости течения в полосах такой воды немного меньше, а температура больше, чем на остальной части взморья. По данным Л. А. Барсуковой [8] речная вода, проходящая через тростниковые заросли, обогащается здесь биогенными элементами за счет увеличения содержания фосфатов и кремния, но теряет органические взвеси и другие вещества, служащие кормом для рыб. Вследствие этого в профильтрованной воде почти не встречаются промысловые рыбы (кроме сазана). Донные грунты в границах полос содержат большее количество илистых частиц, чем грунты остального взморья.

Мутные воды Волги постепенно распространяются по взморью к свалу глубин, где резко выделяются среди прозрачных вод Северного Каспия. Наблюдения с самолета 30 апреля 1955 г. обнаружили резкую границу между светлыми волжскими водами и темными морскими водами несколько севернее о. Тюленьего. Затем она поворачивала к северу до д/к «Донбасс», далее на восток к банке Малой Жемчужной и выходила на бар Белинского банка.

Наблюдения над прозрачностью вод на мелководном взморье в 1955 г. показывают, что ее сезонные изменения находятся в прямой зависимости от сезонного изменения мутности волжских вод. Так, например, по данным суточных станций, расположенных вдоль морского склона бара, средняя мутность в мае равна 90 г/м³, в июне — около 28 г/м³, в августе — 11 г/м³, в ноябре — 14 г/м³. Соответственно мутности изменялась и прозрачность воды: в мае 0,10—0,15 м, в июне 0,5—0,7 м, в августе и ноябре 1,8—2,0 м (до дна). Аналогичное сезонное изменение мутности наблюдалось нами и на мелководном взморье до бара, однако величины мутности были несколько меньше, поскольку здесь слабее ска-

зывается фактор волнения. Таким образом, мутность вод взморья, примерно до 2-метровой изобаты, почти полностью определяется мутностью волжских вод. К югу от этой 30—40-километровой зоны, к свалу глубин, сезонные изменения мутности воды определяются, как показали наблюдения, не мутностью волжских вод, а волнением.

В 1954 г. с июня по октябрь на Стационаре № 3 и у 12-й Огневки Белинского канала Астраханская экспедиция Каспморпроекта ежедневно три раза в сутки определяла мутность и прозрачность воды. За весь период наблюдений среднемесячная мутность по Стационару № 3 оказалась в полтора раза больше, чем у 12-й Огневки, несмотря на то, что она расположена в 11 км от морского края дельты, а Стационар № 3 — в 43 км (табл. 69). Такое распределение мутности объясняется не толь-

Таблица 69

Характерные значения мутности и прозрачности на взморье Волги по наблюдениям у 12-й Огневки и Стационара № 3 в 1954 г. (по данным Каспморпроекта)

Пункт	Характеристика элемента	VI	VII	VIII	IX	X	Среднее за VI—X
Мутность, $г/м^3$							
12-я Огневка	Наибольшая	47	63	74	62	83	66
	Среднемесячная	36	30	25	22	19	26
	Наименьшая	14	7	7	5	2	7
Стационар № 3	Наибольшая	106	105	107	82	69	91
	Среднемесячная	49	44	58	28	30	42
	Наименьшая	—	—	—	—	—	—
Прозрачность, м							
12-я Огневка	Наибольшая	0,80	1,35	1,35	1,30	1,15	1,20
	Среднемесячная	0,70	1,05	1,05	0,95	0,85	0,95
	Наименьшая	0,60	0,60	0,55	0,65	0,35	0,55
Стационар № 3	Наибольшая	0,85	1,65	1,35	1,70	2,50	1,61
	Среднемесячная	0,60	1,00	0,75	1,00	1,30	0,95
	Наименьшая	0,30	0,60	0,40	0,45	0,35	0,40

ко стоком Волги, но также волнением и дрейфовым течением. У 12-й Огневки взмучиванию донных грунтов препятствуют малые глубины (до 1 м) и сильная зарастаемость этого района, не позволяющая развиваться волнению. В районе Стационара № 3 глубины равны 2,8—3,0 м, растительность отсутствует, поэтому свободно развивается волнение и наблюдается дрейфовое течение.

Наибольшая мутность у Стационара, равная $166 г/м^3$, наблюдалась 30/VIII 1954 г. при восточном ветре $8 м/сек$, а у 12-й Огневки — $83 г/м^3$ при юго—юго-восточном ветре $9 м/сек$ 25/X 1954 г., когда начала отмирать водная растительность.

В качестве примера изменения мутности в зависимости от ветра можно привести данные суточной станции II ($H=1,7 м$) за 27—28/VI 1955 г. (табл. 70).

При слабом ветре и штиле мутность от поверхности ко дну увеличивается, а у дна достигает наибольшей величины (табл. 71). Наблюдения у д/к «Донбасс» в мае 1940 г. показали, что среднемесячная величина мутности в поверхностном слое равна $85 г/м^3$, в среднем горизонте —

Таблица 76

Средняя мутность, на станции II в июне 1955 г.

Дата	Время, час	Ветер, м/сек	Скорость течения, м/сек	Средняя мутность, г/м ³
27 VI	15	ЮЮЗ-3	0,15	41
28 VI	3	СЗ-8	0,27	115
28 VI	16	ЮЮЗ 4	0,18	35

Таблица 71

Вертикальное распределение мутности на взморье Волги при штиле в 1955 г.

№ станции	Дата	Глубина, м	Горизонт, м	Мутность, г/м ³
VIII	7 VI	7,8	0,5	22,7
			2,5	23,1
			5,0	36,9
VIII	8 VI	5,0	7,5	45,8
			0,5	14,6
			2,5	15,7
VIII	9 VI	5,0	4,5	34,4
			0,5	17,0
			2,5	18,0
VIII	14 VII	5,0	4,5	41,8
			0,5	25,0
			2,5	24,7
			4,8	48,0

101 г/м³, а в придонном слое — 116 г/м³. При штормах закономерности в распределении мутности по вертикали отметить не удалось.

Наблюдения над мутностью зимой 1939 г. у о. Искусственного показывают, что мутность воды в поверхностном слое при ледяном покрове незначительна (10—13 г/м³), т. е. вода почти не содержит взвешенных частиц (табл. 72). Такая малая величина мутности здесь объясняется

Таблица 72

Характерные значения мутности воды у о. Искусственного зимой 1939 г.

Месяц	Характеристика поверхности моря	Мутность, г/м ³		
		средняя	наибольшая	наименьшая
I	Ледостав	13	67	3
II	.	11	64	1
III	Чисто	81	354	7
IV	.	121	310	21

незначительной мутностью волжских вод в этот период, малыми скоростями (0,05—0,10 м/сек) стокового течения и невозможностью взмучивания донных грунтов волнением ледяного покрова.

После вскрытия мутность воды резко увеличивается, особенно в начале подъема половодья (март—апрель). До настоящего времени предполагалось, что при нагоне с моря на взморье поступала более чистая вода и, создавая подпор, способствовала выпадению наносов. Поэтому

считалось, что мутность при нагонах уменьшается. Однако наблюдения над мутностью показывают, что во время нагонов она сильно увеличивается. Так, например, для Стационара № 2 (Лаганская яма) мутность во время нагона в среднем почти в 2 раза больше, чем до нагона. Это объясняется увеличением взмучивания вследствие развиваемого волнения, так как волны при нагонных ветрах имеют максимальную длину разгона и максимальную высоту, поскольку они поступают с более глубокой части моря и волнение проникает до дна.

При сгоне мутность резко увеличивается в придельтовой зоне особенно в бороздинах и каналах благодаря повышенным придонным скоростям стокового течения и большому выносу взвешенных частиц волжскими водами. В период половодья они также увеличиваются при сгонах и за морским баром, так как усиливается вынос мутных вод. Однако в межень мутность здесь изменяется незначительно.

В 1955 г. Волжская устьевая станция под руководством ГОИНа впервые провела наблюдения над мутностью и прозрачностью вод в районе свала глубин. Это дало возможность получить новые интересные

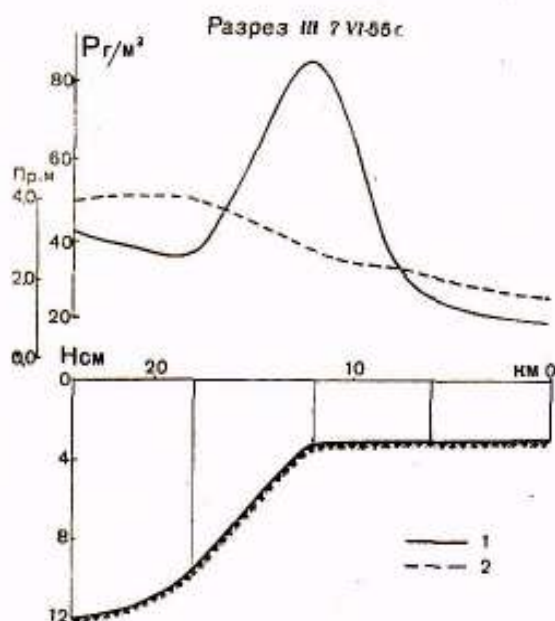


Рис. 40. Распределение мутности и прозрачности воды на свале глубин при волнении. 1 — мутность, 2 — прозрачность.

данные. Анализ данных разрезов, перпендикулярных свалу глубин, показывает, что на участке с наибольшим уклоном дна при ветрах нагонных румбов вследствие увеличения трения о дно резко уменьшается высота волны и бывают наибольшие придонные скорости дрейфового течения. Все это вызывает усиленное взмучивание донного грунта, поэтому на свале глубин при указанных ветрах наблюдается наибольшая мутность (в 2—3 раза больше, чем к северу и югу от свала) и наименьшая прозрачность воды (рис. 40).

Исследование прозрачности воды показало, что существует зависимость между нею и содержанием взвешенных веществ. Она характеризуется гиперболической кривой [44, 98]. Но при разных диаметрах частиц взвешенного вещества прозрачность воды может быть различной. Так, при волнении, особенно к югу от морского бара, зависимости между мутностью и прозрачностью вод не сохраняется. Прозрачность по мере удаления от морского края в море увеличивается, а мутность сначала несколько уменьшается (перед баром), а затем резко увеличивается и становится больше, чем в приустьевой зоне взморья. По данным 1955 г., при волнении 4—5 баллов, в мористой части взморья мутность была в 2—3 раза, а прозрачность — в 3—5 раз больше, чем в придельтовой зоне. При волнении в мористой части взморья взмучиваются более крупные песчаные частицы грунта, диаметр которых равен 0,10—0,25 мм. В придельтовой же зоне взморья наличие множества островов, подводных кос, водной растительности препятствует развитию волнения и взмучиванию донных отложений. При одной и той же мутности, но при более крупных частицах грунта, прозрачность оказывается больше за морским баром, а не у морского края. Такое соотношение между прозрачностью и мутностью воды при волнении является, по-видимому, характерной чертой такого мелководного взморья, как взморье дельты Волги.

Величина мутности и прозрачности вод взморья в значительной степени зависит от характера грунта взморья. Наблюдения показали, что в районах с преобладанием илстых частиц прозрачность при волнении равна 0,3—0,5 м, в то время как на соседних участках она составляет 1,0—1,3 м.

Анализ наблюдений над мутностью на суточных станциях показывает, что наибольшие суточные изменения мутности на взморье отмечаются в межень, а наименьшие — в период половодья. Эти изменения увеличиваются к свалу глубин, а затем резко уменьшаются, при этом они больше в придонном и меньше в поверхностном слое.

Учитывая распределение мутности и используя характеристики ветра и вызываемых им течений, можно приблизительно представить следующую картину переноса взвешенных частиц на взморье Волги: а) в 15-километровой придельтовой зоне перенос вдоль морского края отсутствует, б) основная масса взвешенных частиц переносится течением вдоль морского бара, особенно вдоль свала глубин, в) в западном направлении перенос в 2 раза больше, чем в восточном направлении.

Таким образом, значительная часть твердого стока Волги, поступающая на предустьевое взморье, транспортируется в зоне от морского бара до свала глубин в западную часть взморья. Вследствие этого переноса в западной части взморья возникли, по нашему мнению, такие банки (мели), как Малая и Средняя Жемчужные, Чистая (остров) и огромное мелководное пространство в северо-западной части моря. Движение наносов в меридиональном направлении южнее морского бара незначительно.

Характер движения наносов по сезонам года оказывается следующим: в зимний период при ледоставе перемещения наносов почти не происходит; весной, в марте—апреле, транспортировка наносов на взморье резко увеличивается, причем в это время повторяемость движения наносов в западном направлении в среднем составляет 65, а в восточном — 25%; повторяемость же движения наносов в южном направлении — около 15%. В летний период, особенно в июле, повторяемость перемещения наносов вдоль бара в западном и восточном направлениях почти одинакова (около 35%). Осенью резко увеличивается перенос наносов в западном направлении и уменьшается в восточном.

Так, например, в ноябре повторяемость движения наносов на восток составляет 18%, в то время как повторяемость переноса наносов на запад равна 70%. В этот период и совершается основной перенос наносов в западную часть взморья. Это в значительной степени обуславливает заносимость основного выхода из дельты в море — Волго-Каспийского канала.

На основании материалов Центроморпроекта за 1923—1943 гг., Волго-Каспийский канал по степени заносимости и генезису можно разделить на три участка: речной, переходный от речного к морскому и морской. Заносимость речного участка зависит от величины стока Волги (табл. 73). С увеличением стока увеличивается количество наносов, и заносимость канала растет.

Таблица 73

Сток Волги и заносимость речного участка Волго-Каспийского канала (по данным Центроморпроекта, 1939 г.)

Год	Сток Волги, км ³	Сток наносов в канале, тыс. тонн	Заносимость, см
1929	324	6340	25
1930	274	3854	12
1931	234	4198	19
1932	270	5193	27
1933	200	3336	14

Кроме стока Волги, на заносимость речного участка влияет падение уровня моря, при котором уклоны воды увеличиваются, а следовательно, увеличиваются и скорости стокового течения. Вследствие этого зона выпадения речных наносов перемещается по каналу далее к югу.

Влияние реки и моря на заносимость переходного участка (40—65 км канала) примерно одинаково. Здесь оседают наносы как поступающие из Волги, так и приносимые со взморья течением и волнением.

Морской участок находится преимущественно под влиянием дрейфовых течений и волнения. Выносы Волги меньше влияют на заносимость этого участка.

По материалам наблюдений Каспморпроекта над заносимостью за 1941—1943 гг. средний слой отложений на морском участке канала за 12 мес. составил 0,31 м. Средний расход воды в канале равен 126 м³/сек. Расчет показывает, что при такой заносимости средняя мутность должна быть 800 г/м³. Фактически такой мутности никогда не наблюдалось (у 24-й Огневки мутность не более 80—100 г/м³, в начале ВКК — 80—120 г/м³). Если допустить, что до 24-й Огневки взвешенные частицы не осаждаются, то они составят около 10% наносов, осаждающихся в канале на этом участке. Отсюда вывод, что участок канала на 68—90-м км заносится не наносами Волги, а главным образом осадками, поднимаемыми со дна взморья волнением и переносимыми дрейфовыми течениями.

Канал заносится как наносами, влекаемыми по дну, так и взвешенными наносами. Анализ режима взвешенных наносов в канале показал, что при пересечении канала дрейфовым течением с востока на запад наибольшая мутность была у восточной бровки, наименьшая — у западной. Обнаружено, что часть взвешенных наносов при пересечении канала оседает на его дно. Количество наносов, выпавших из взвешенного состояния, равно 90%, и только 10% составляют донные наносы, т. е. морской участок канала в основном заносится взвешенными наносами.

Это подтверждается и механическим анализом донных отложений (табл. 74).

Таблица 74

Механический анализ донных отложений в районе 17—24-й Огневок ВКК в %
(по данным Центрморпроекта, 1939 г.)

Пункт	Размер частиц, мм	Западная бровка	Под западной бровкой	По оси канала	Восточная бровка	Под восточной бровкой
Средняя величина для участка	0,05	22	38	32	29	40
	0,05—0,25	62	58	58	57	54
	0,25	16	4	10	14	6

Состав наносов в канале мало отличается от состава наносов взморья, которые, очевидно, и заносят канал. Эти выводы подтверждаются материалами по заносимости канала.

Ячевский (Центрморпроект, 1939 г.) рассчитал, что 65% от общей величины наносов поступает в канал с востока и только 15% — с запада.

Речные отложения образуют в канале два бара — речной, в районе шалыг (28—30 км канала), и морской — на 60—70 км. Морской бар расположен в районе второго резкого уменьшения скоростей стоковых течений в канале. Ниже 74-го километра канала из речных взвесей осаждаются только илстые фракции (до 0,1 м в год). Отложение морских наносов начинается несколько ниже участка шалыг. Мощность их по мере увеличения глубин забровочного пространства с удалением от морского края увеличивается. Наибольшая заносимость канала (до 1 м в год) бывает на 70—80-м километре. Этот участок расположен на продолжении склона морского бара, вдоль которого движется большое количество наносов в западном направлении.