

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.535.6

### ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА НАНОСОВ В НИЗОВЬЯХ И ДЕЛЬТЕ р. КУБАНИ В XX–XXI ВВ.<sup>1</sup>

© 2011 г. Д. В. Магрицкий

Московский государственный университет  
119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

Поступила в редакцию 10.09.2010 г.

По материалам сетевых и экспедиционных измерений и сведениям о водохозяйственных мероприятиях детально исследованы особенности вдольрусловых и многолетних изменений основных характеристик стока взвешенных наносов в нижнем течении и дельте р. Кубани. Для характерных периодов выполнена оценка годовых величин фактического и восстановленного стока наносов, вклада в его изменения хозяйственной деятельности, дан прогноз возможных изменений характеристик стока наносов в XXI в. Рассмотрены особенности, величины и причины трансформации стока наносов в пределах дельты Кубани в прошлом и в современный период; рассчитан баланс наносов в дельте.

*Ключевые слова:* река, дельта, сток наносов, водохозяйственные и гидротехнические мероприятия, русловые деформации.

Многие процессы в бассейнах и устьях рек, а также на морском побережье тесно связаны с формированием и перемещением взвешенных и влекомых наносов. Сток речных наносов определяет характер русловых процессов, существование неустойчивых русел и катастрофические изменения русловой сети, формирование и строение дельты, динамику ее гидрографической сети и морского края, вероятность наводнений. Влияют речные наносы и на использование водных ресурсов, вызывая занесение водозаборов и судовых ходов, определяя стоимость водоподготовки, затраты на очистку гидротехнических объектов и др. Часть загрязняющих веществ перемещается с речными наносами.

Несмотря на очевидное влияние речных наносов на гидролого-морфологические процессы в нижнем течении и дельте р. Кубани, а также на то, что это влияние могло существенно измениться после осуществления в бассейне реки ряда крупномасштабных водохозяйственных мероприятий, изучению режима стока наносов Нижней Кубани и водотоков дельты до настоящего времени уделялось недостаточное внимание. К числу немногих исследований, в которых затрагивались вопросы, связанные с режимом наносов, можно отнести работы [3, 4, 12, 14, 18, 19]. Однако проблема исследования стока наносов в низовьях Кубани и его изменчивости по-прежнему остается среди наименее разработанных. Поэтому в настоящей статье многие вопросы поставлены и решены впервые.

Статья основана на материалах, собранных автором во время экспедиций в низовьях и дельте р. Кубани в 2001–2008 гг. и любезно предоставленных Кубанской устьевой гидрометеостанцией (КУС, г. Темрюк).

#### ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Регулярные стационарные наблюдения за стоком наносов на нижнем участке Кубани проводились на его границах – у Краснодара (с 1932 г.) и в 0.5 км выше вершины дельты (ВД) – на гидрологическом посту (г/п) Тиховский (с 1931 г.). Перерыв в наблюдениях пришелся на годы войны; окончательно наблюдения прекратились в 1987 г. на г/п Краснодар и в 2005 г. на г/п Тиховский. Прекращение наблюдений на г/п Тиховский было связано с вводом в строй в 2005 г. Тиховского вододелительного гидроузла [15], изменившего строение и режим Раздерского узла разветвления, к которому относится и ВД.

Данные, позволяющие исследовать трансформацию стока наносов в дельте Кубани, получены во время стационарных и экспедиционных измерений мутности и расходов воды в реке, рукавах и гирлах (водотоках, соединяющих водоемы дельты с морем). Больше всего постов (10) с наблюдениями за стоком взвешенных наносов действовало в дельте в 30-х гг. XX в. Многие из них функционировали преимущественно в течение 5–10 лет. Следующим этапом наблюдений за стоком наносов в дельте были 60–70-е гг. XX в. – период строительства в нижнем течении и дельте Кубани крупных гидротехнических объектов. В это время наблюдения велись на

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-05-00199) и договора 11.G34.31.0007 между Минобрнауки РФ и МГУ.

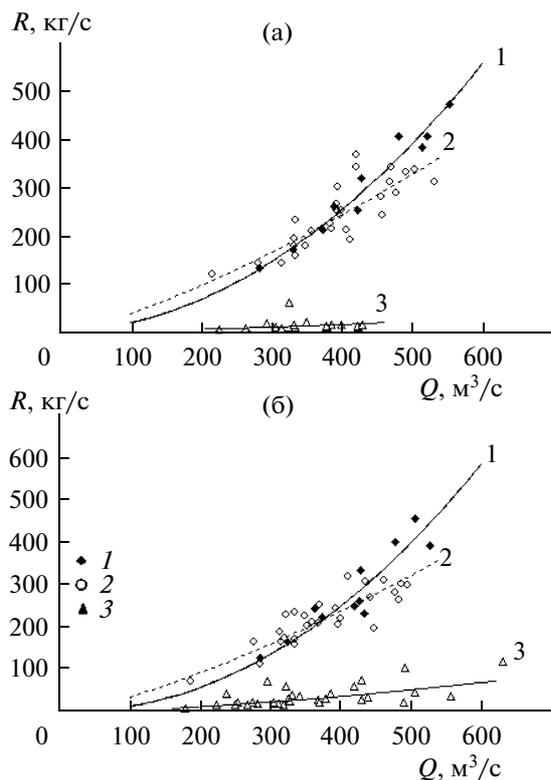


Рис. 1. Связи средних годовых расходов взвешенных наносов  $R$  с расходами воды  $Q$  р. Кубани у г. Краснодара (а) и хутора Тиховского (б) в 1931–1941 (1), 1942–1972 (2) и 1973–2004 гг. (3).

девяти постах. В настоящее время мониторинг стока взвешенных наносов в дельте осуществляют только пять постов – Зайцево Колено и Темрюк (рук. Кубань), Славянск-на-Кубани и Слободка (рук. Протока), Дубовый Рынок (рук. Казачий Ерик). Они расположены довольно равномерно в пределах дельты. Эти же посты, а также закрытый г/п Демин Ерик (рук. Протока), имеют наиболее длительные ряды наблюдений за мутностью  $s$  и расходами взвешенных наносов  $R$  основных дельтовых рукавов.

Поскольку данные о расходах взвешенных наносов на некоторых постах за отдельные месяцы и годы отсутствовали, они восстановлены автором с использованием зависимостей вида  $R_i = f(Q_i)$  и  $R_i = \varphi(R_j)$  (рис. 1), где  $i$  и  $j$  обозначают принадлежность данных к одному или разным постам.

Помимо этих данных, были использованы результаты исследований других авторов, а также новые материалы совместных полевых работ географического факультета МГУ и КУС. Экспедиционные измерения  $R$  и  $s$  выполнялись, главным образом, в узлах дельтовых разветвлений (около 300 серий синхронных измерений). Кроме того, летом 2004 г. были выполнены многочисленные измерения мутности воды по длине р. Кубани и ее одно-

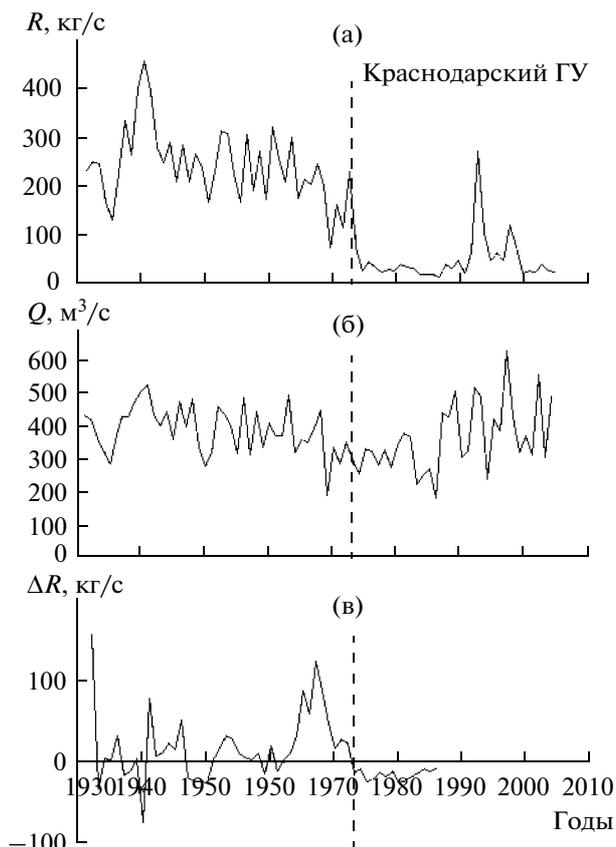


Рис. 2. Многолетние изменения средних годовых расходов взвешенных наносов (а) и расходов воды (б) р. Кубани на г/п Тиховский; разницы между расходами наносов на г/п Краснодар и Тиховский (в).

именного дельтового рукава, а также изучалось движение донных гряд в русле реки (на участке г/п Тиховский) как одной из форм перемещения влекомых наносов.

#### ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ СВОДНОГО РЯДА НАБЛЮДЕНИЙ НА ПЕРИОДЫ

К началу стационарных наблюдений за речными наносами в нижнем течении и дельте Кубани уже действовал ряд факторов, искажающих естественный режим стока наносов реки и рукавов. Это – обвалование русел и забор воды на орошение. В дальнейшем, с расширением хозяйственной деятельности в бассейне р. Кубани, нарушение режима наносов стало еще более значительным.

Подразделение ряда наблюдений на характерные периоды и поиск причин происшедших изменений проводились автором с привлечением материалов по истории развития водохозяйственного комплекса бассейна р. Кубани в XX в. [12], на основе результатов анализа зависимостей вида  $R_T = f(Q_T)$ ,  $s_T = \varphi(Q_T)$ ,  $R_T = \psi(t)$ ,  $\Delta R = \gamma(t)$ ,  $R_T = \zeta(R_{Kp})$  и др. (рис. 1, 2). Здесь  $\Delta R = R_{Kp} - R_T$ ;  $Q$  – расходы воды,

**Таблица 1.** Средние характеристики стока взвешенных р. Кубани у г. Краснодара (I) и в ВД (II) за разные периоды (здесь и в табл. 2 прочерк – отсутствие данных; в скобках – приближенные значения)

Характеристика	Створ	Годы				
		1931–1941	1942–1972	1973–1986	1987–2004	1973–2004
Фактические средний годовой расход наносов $R_{\Phi}$ , кг/с	I	299	247	14.0	–	–
	II	279	226	28.6	58.0	45.1
Годовой сток наносов, млн. т/год	I	9.44	7.79	0.44	–	–
	II	8.80	7.13	0.90	1.83	1.42
Коэффициент вариации	II	0.38	0.27	–	–	0.80
Восстановленный средний годовой расход наносов $R_{\text{ВЕ}}$ , кг/с	I	–	315	316	–	–
	II	–	300	315	465	399
Годовой сток наносов, млн. т/год	I	–	9.94	9.97	–	–
	II	–	9.47	9.94	14.7	12.6
Антропогенное изменение среднего годового расхода взвешенных наносов* $\Delta R = \Delta R_{\text{ГТС}} + \Delta R_{\text{Q}}$ , кг/с	I	–	17 + 51 = 68	173 + 129 = 302	–	–
	II	–	9 + 65 = 74	94 + 192 = 286	221 + 186 = 407	166 + 188 = 354
Средний многолетний максимальный годовой расход взвешенных наносов $R_{\text{макс}}$ , кг/с	I	(1510)	2040	150	–	–
	II	(980)	1880	310	380	345
Средняя мутность воды $s$ , г/м <sup>3</sup>	I	697	616	41	–	–
	II	674	595	98	140	125

\* – изменение средних годовых расходов взвешенных наносов вследствие прямого воздействия на транзит наносов гидротехнических сооружений и карьерной добычи песка  $\Delta R_{\text{ГТС}}$  и антропогенного снижения расходов воды  $\Delta R_{\text{Q}}$ .

м<sup>3</sup>/с;  $s$  – мутность воды, г/м<sup>3</sup>;  $t$  – год; Т и Кр обозначают принадлежность данных к г/п Тиховский и Краснодар соответственно. Дополнительно при выделении периодов были учтены результаты исследований К.М. Зубковой [7].

В итоге оказалось, что на режим стока взвешенных наносов на нижнем участке и в дельте Кубани в наибольшей степени повлияли следующие мероприятия: сооружение Тшикского (1939–1940 гг.) и Шапсугского (1952 г.) водохранилищ, полностью задержавших сток наносов соответственно рек Белой и Афипис; добыча песка из русла Кубани, которая стала интенсивно осуществляться с начала 1960-х гг.; строительство низконапорного Федоровского гидроузла (1967 г.) и увеличение заборов воды в Прикубанский и Федоровский каналы; сооружение Краснодарского водохранилища (1973 г.). В то же время, влияние на сток наносов водозаборов Невинномысского (1948 г.) и Большого Ставропольского (1967 г.) каналов оказалось незначительным. Таким образом, в многолетних изменениях расходов наносов Кубани на г/п Тиховский необходимо выделять три характерных периода: с условно-естественным режимом стока наносов реки (1930–1941 гг.), характеризующийся незначительным влиянием хозяйственной деятельности; с заметным и нарастающим влиянием хозяйственной деятельности (1942–1972 гг.), разбитый на три подпериода (1942–1951, 1952–1963 и 1964–1972 гг.); с зарегули-

рованным Краснодарским водохранилищем стоком воды и наносов (1973–2005 гг.), условно разбитый на два подпериода (1973–1986 гг. – маловодный, с максимальной антропогенной нагрузкой; 1987–2004 гг. – многоводный, в условиях снижения масштабов хозяйственной деятельности). Каждому из выделенных периодов присуща разная направленность эрозионно-аккумулятивных процессов на участке Краснодар – ВД, величины и режим стока наносов, зависимости характеристик стока наносов от определяющих факторов.

#### ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОГО СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НИЖНЕЙ КУБАНИ

Наибольший сток взвешенных наносов в нижнем течении р. Кубани оказался в первый период, т.е. до 1941 г. (табл. 1). На г/п Краснодар средние многолетние расход наносов и мутность воды в эти годы составили 299 кг/с и 697 г/м<sup>3</sup>, а на г/п Тиховский – 279 кг/с и 674 г/м<sup>3</sup>. Таким образом, между этими г/п в условиях условно-естественного режима в русле реки доминировали аккумуляция наносов и продольное уменьшение величины стока наносов (на 0.64 млн. т/год, или 6.8%), несмотря на пополнение речного потока наносами закубанских рек (на 0.25 млн. т/год). Межгодовые изменения

стока воды и наносов Нижней Кубани с 1931 по 1941 г. были довольно синхронными (рис. 2). Они были обусловлены главным образом естественной изменчивостью гидрометеорологических факторов, так как никакие крупные гидротехнические сооружения в это время не функционировали, а водозабор из реки, осуществлявшийся ниже Краснодара, не превышал 2% годового объема стока воды и практически не оказывал влияния на режим стока наносов в ВД. Связь между расходами воды и взвешенных наносов для всех постов была довольно тесной (рис. 1), несмотря на разнообразие стокоформирующих факторов.

В дальнейшем, с 1942 по 1972 г., сток наносов Нижней Кубани уменьшился (табл. 1, рис. 2), тогда как на некоторых других участках и притоках р. Кубани, наоборот, отмечено его увеличение. Уменьшение стока взвешенных наносов было обусловлено вначале вводом в строй Тшикского водохранилища, почти полностью задержавшего наносы р. Белой, составлявшие около 20% годовой величины стока наносов р. Кубани у Краснодара. Это уменьшение стока наносов было существенным ниже впадения притока и становилось малозаметным к Краснодару, т.е. всего через 44 км ниже по течению. На г/п Тиховский средний многолетний расход взвешенных наносов уменьшился в 1942–1951 гг. в 1.17 раз в сравнении с его величиной в 1931–1941 гг., тогда как расход воды сократился в 1.06 раз. Объем накапливающихся в русле наносов уменьшился до значений, соизмеримых с погрешностями расчета величины годового стока наносов.

В меньшей степени повлияло на сток наносов р. Кубани в ВД создание Шапсугского водохранилища, почти полностью перехватившего наносы р. Афипис. Наоборот, в связи с повышением водности реки в этот подпериод  $R$  и  $s$  в нижнем течении Кубани немного возросли. Аккумуляция наносов на участке составила в среднем 0.35 млн. т/год. Только в связи с перекрытием русла реки плотиной Федоровского гидроузла (ГУ), с увеличением объемов забора воды в Прикубанский, Федоровский и другие каналы, с ростом объемов карьерной добычи песка из русла произошло значительное снижение поступления наносов в дельту реки. В 1964–1972 гг. средний многолетний расход взвешенных наносов на г/п Тиховский уменьшился в 1.58 раз в сравнении с его величиной в 1931–1941 гг., а расход воды – всего в 1.23 раза. Вдольрусловое снижение стока наносов достигло 1.8 млн. т/год.

В целом, средний годовой расход взвешенных наносов р. Кубани на г/п Тиховский во второй период составил 226 кг/с, что на 53 кг/с меньше, чем в первый период, и на 74 кг/с меньше, чем могло бы быть при условно-естественном расходе воды  $Q_{\text{е.г}} = 430 \text{ м}^3/\text{с}$  (за 1942–1972 гг.) и существовавшей до 1941 г. зависимости  $R_T = f(Q_T)$ . Причем снижению расходов воды в реке соответствовало около 88%

упомянутого уменьшения  $R$  в ВД ( $\Delta R_Q = 65 \text{ кг/с}$ ), а прямому воздействию гидротехнических сооружений на транзит наносов и добыче речного аллювия – всего 12% ( $\Delta R_{\text{ГТС}} = 9 \text{ кг/с}$ ). С усилением антропогенного влияния, кроме того, было связано изменение характера зависимости между расходами взвешенных наносов и воды, уменьшение тесноты этой связи (рис. 1).

Уменьшение стока наносов вдоль Нижней Кубани в 1942–1972 гг. составило 0.66 млн. т/год. В течение первого и второго подпериодов этот процесс не был направленным, и наблюдалось чередование лет с преобладанием либо аккумуляции, либо размыва ранее отложившихся наносов (рис. 2в). Причем в годы с повышенной водностью обычно преобладали аккумулятивные процессы, а при снижении расхода воды, наоборот, “сработка” наносов превышала аккумуляцию, либо оба процесса уравнивали друг друга [7]. В 1964–1972 гг. эти закономерности сменились круглогодичной седиментацией наносов на рассматриваемом участке. Всего за 9 лет здесь отложилось ~16 млн. т или примерно столько же, сколько было добыто речного аллювия из карьеров на участке Краснодарский ГУ – аул Афиписип.

Наибольшее антропогенное уменьшение стока наносов в нижнем течении Кубани произошло после сооружения в 1973 г. Краснодарского водохранилища (табл. 1, рис. 2а). В результате в 1973–1986 гг. средний годовой расход взвешенных наносов на г/п Тиховский составил всего 28.6 кг/с, т.е. на 250 кг/с меньше по сравнению с его средней величиной в 1931–1942 гг., а ниже плотины Краснодарского водохранилища – 14 кг/с, т.е. на 285 кг/с меньше. Однако с учетом фактической водности реки в эти годы реальный ежегодный дефицит наносов, связанный с эксплуатацией гидротехнических сооружений и карьерной добычей песка, не был в действительности таким большим и составил 173 кг/с у Краснодара и 94 кг/с в ВД.

Сооружение Краснодарского ГУ и нарушение естественного режима стока наносов привели к серьезным изменениям характера русловых процессов в низовьях Кубани. В зарегулированных условиях здесь стала преобладать эрозия русла (типичная для нижних бьефов практически всех крупных водохранилищ), а интенсивность плановых деформаций русла ослабла. Под влиянием этих процессов и из-за уменьшения водности реки в нижнем бьефе Краснодарского ГУ произошло существенное снижение уровня воды. Величина размыва русла уменьшалась вниз по течению от ГУ и в средней части дельты, по-видимому, достигала исчезающе малых значений [9, 16].

Размыв русла Кубани между плотиной гидроузла и ВД привел к пополнению наносами потока и вдольрусловому увеличению средней мутности воды в 2.4 раза в период 1973–1986 гг. (табл. 1). Наиболее интенсивно этот процесс протекал ниже Федо-

ровского ГУ (рис. 3), поскольку выше по течению насыщению потока наносами препятствовал создаваемый гидроузлом гидравлический подпор. Комментируя рис. 3, необходимо отметить, что мутность воды в самом Краснодарском водохранилище на момент гидрологической съемки (06.08.2004 г.) составляла  $38 \text{ г/м}^3$  (в 6–8 км выше плотины), а в устьях впадающих в него рек – Кубань, Белая, Пишиш, Старая Марта и Псекупс – соответственно 240–330, 150, 550, 100 и  $200 \text{ г/м}^3$ .

С 1987 г. в связи с увеличением водности реки (рис. 2б) и соответственно усилением процессов размыва русла на участке Краснодар–Тиховский, а также из-за частичного прекращения карьерной добычи руслового материала (в 1981 г. Краснодарским крайисполкомом было принято решение о запрещении добычи аллювия из русла, но полностью оно не выполнялось и по-прежнему не выполняется) зафиксировано увеличение стока взвешенных наносов в 2 раза. Но при отсутствии Краснодарского и Федоровского ГУ средний расход взвешенных наносов в эти годы был бы на  $221 \text{ кг/с}$  больше, а в условиях естественного стока воды ( $Q_{\text{е.Г}} = 560 \text{ м}^3/\text{с}$  в 1987–2004 гг.) – еще на  $186 \text{ кг/с}$  больше.

Помимо изменения средних расходов взвешенных наносов и мутности воды в зарегулированных условиях произошло существенное уменьшение максимальных величин  $R$  и  $s$  (табл. 1), нарушение характера связи между расходами воды – с одной стороны, и взвешенных наносов и мутности воды – с другой (рис. 1), изменение механического состава взвешенных наносов.

На величину стока взвешенных наносов в низовьях Кубани в XXI в. будут оказывать влияние следующие основные факторы: сток воды и его внутригодовое распределение, величины максимальных расходов воды; интенсивность русловых деформаций; водохозяйственные мероприятия. Согласно прогнозным оценкам [5, 6, 10, 13, 20–23] условно-естественный годовой сток воды р. Кубани в ВД ( $W_{\text{е.Г}}$ ) к 2010–2020-м гг. может увеличиться на 5–10% в сравнении с его величиной в 1961–1990 гг. (базисный период). Величина же антропогенного уменьшения стока воды реки в ближайшие десятилетия увеличится незначительно. Характер изменений  $W_{\text{е.Г}}$  к середине и концу XXI в. обладает значительной неопределенностью в знаке: для середины текущего столетия прогностические отклонения годового стока воды от величин базисного периода находятся в диапазоне от –20 до +12%, а для конца XXI в. – от –8 до +9%.

С учетом этих очень приближенных оценок годовой сток взвешенных наносов р. Кубани в створе Тиховского вододельительного гидроузла (ТВГУ) может составить, по оценкам автора, в 2020-х гг. в середине и конце XXI в. соответственно 75–82, 36–85 и 55–81% стока наносов 1973–2004 гг. Причем принимается, что  $\Delta Q_T \approx 150 \text{ м}^3/\text{с} = \text{const}$ . Таким об-

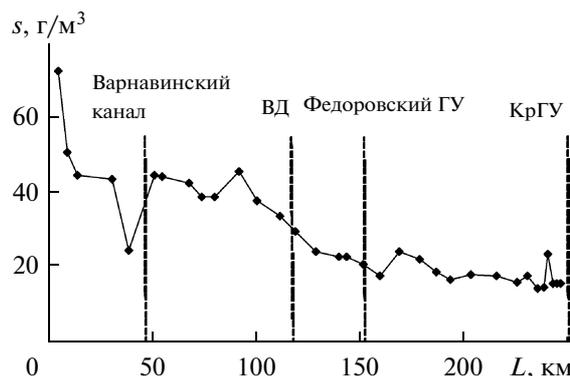


Рис. 3. Изменение мутности воды по длине р. Кубани (ниже Краснодарского гидроузла (КрГУ) и рук. Кубань 7–8 августа 2004 г. при средних суточных расходах воды на г/п Тиховский  $474\text{--}417 \text{ м}^3/\text{с}$  (данные измерений МГУ и КВС). Расстояния даны от устьевого створа рук. Кубань.

разом, поступление взвешенных наносов в дельту в будущем, вероятнее всего, сократится.

Как повлияют на сток наносов реки изменчивость других определяющих факторов, предугадать довольно сложно. Во-первых, на многих участках Нижней Кубани русловая эрозия к началу XXI в. практически прекратилась, так как речной поток достиг устойчивых к размыву пород. Таким образом, основным источником восполнения дефицита наносов в речном потоке между плотиной Краснодарского ГУ и ВД останется размыв берегов. Но постоянно проводимая инженерная защита берегов реки будет и дальше его лимитировать. Поэтому величина продольного возрастания мутности воды и расходов взвешенных наносов либо останется прежней, либо уменьшится. Во-вторых, может измениться как в сторону увеличения, так и уменьшения количество взвешенных наносов, поступающих из Краснодарского водохранилища. Роль этого источника будет зависеть от многовариантных сочетаний величины поступления наносов с речными водами в сам водоем, размера абразии его берегов, правил эксплуатации водохранилища, объемов добычи песка в нем и др. В-третьих, структура основных водохозяйственных мероприятий на нижнем участке р. Кубани, вероятно, изменится мало. Поэтому их воздействие на величину и режим стока наносов останется прежним. Пока ничего нельзя сказать о характере влияния на  $s$  и  $R$  недавно введенного в строй ТВГУ.

#### ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОДОВОГО СТОКА НАНОСОВ В ДЕЛЬТЕ

Пространственно-временная изменчивость расходов наносов и мутности воды в пределах дельты Кубани объясняется следующими причинами: естественными и антропогенными изменениями стока

Таблица 2. Изменение характеристик стока взвешенных наносов вдоль рукавов дельты Кубани

Водоток	Г/п, расстояние от устьевоего створа, км	Годы											
		1946–1963			1964–1972			1973–1986			1987–2004		
		$R$ , кг/с	$W_R$ , млн. т	$s$ , г/м <sup>3</sup>	$R$ , кг/с	$W_R$ , млн. т	$s$ , г/м <sup>3</sup>	$R$ , кг/с	$W_R$ , млн. т	$s$ , г/м <sup>3</sup>	$R$ , кг/с	$W_R$ , млн. т	$s$ , г/м <sup>3</sup>
Р. Кубань	Тиховский, 111	244	7.70	618	177	5.59	527	28.6	0.90	98	58.0	1.83	140
Рук. Протока	Исток, 133	(113)	(3.57)	–	(88)	(2.78)	–	(15.2)	(0.48)	(100)	30.0	0.95	140
	Славянск-на-Кубани, 115	111	3.50	638	88	2.78	557	14.8	0.47	101	30.6	0.97	142
Рук. Кубань	Демин Ерик, 69	115	3.63	676	78	2.46	552	–	–	–	–	–	–
	Слободка, 10	–	–	–	64	2.02	507	11.1	0.35	85	12.6	0.40	65
	Исток, 110	(131)	(4.13)	–	(89)	(2.81)	–	(13.4)	(0.42)	(100)	28.0	0.88	140
	Зайцево Колено, 22	124	3.91	570	66.3	2.09	400	13.6	0.43	100	22.0	0.69	118
Рук. Казачий Ерик	Темрюк, 7.2	–	–	–	–	–	–	13.4	0.42	107	17.9	0.56	102
	Дубовый Рынок, 5.9	–	–	–	12.8	0.40	388	1.20	0.04	106	0.60	0.02	70

наносов реки в ВД, распределением и перераспределением стока воды (а вместе с ним и наносов) по водотокам дельты, эрозионно-аккумулятивными процессами в рукавах дельты, экстремальными гидрологическими явлениями – наводнениями и нагонами.

Поступающие в дельту с водами р. Кубани взвешенные наносы распределяются между основными рукавами (Протока и Кубань) в Раздерском узле разветвления. Это распределение не оставалось постоянным на протяжении существования узла и изменялось под влиянием разных причин. Анализ данных измерений  $R$  и  $s$  на г/п Тиховский и Славянск-на-Кубани (рук. Протока) позволил автору установить, что, как и в случае со стоком воды [15], многолетние изменения средних годовых расходов взвешенных наносов на г/п Славянск-на-Кубани можно условно разделить на два характерных периода – до 70-х гг. XX в. (до 1968 г. включительно), когда в рук. Протока поступало меньше половины годового стока взвешенных наносов р. Кубани; после 1969 г., когда эта доля почти всегда превышала 50%. Кроме того, в результате перераспределения стока наносов между рукавами формировались новые довольно тесные линейные связи между средними годовыми расходами взвешенных наносов рукавов и реки. В 1969–2004 гг. аналитическое выражение этой зависимости для рук. Протока (г/п Славянск-на-Кубани) имеет вид

$$R_{\text{Сл}} = 0.58R_{\text{T}} - 1.4 \quad (r = 0.97). \quad (1)$$

В отличие от данных стационарных наблюдений, экспедиционные синхронные измерения мутности воды и расходов наносов в узлах разветвления отражают действительное и почти мгновенное распределение стока наносов между дельтовыми водотоками. Согласно этим данным в рук. Кубань при

расходах воды в р. Кубани менее ~400 м<sup>3</sup>/с уходило в 1936–1940 гг. от 50 до 70%, а в рук. Протока – от 50 до 30% общего количества взвешенных наносов реки в ВД. При больших расходах воды рук. Кубань забирал 60–50% наносов и менее, а рук. Протока – 40–50% и более. В среднем за 1931–1941 гг. в рук. Кубань поступало ~54, а в рук. Протока 46% наносов р. Кубани; т.е. распределение было таким же, как и для расходов воды [15]. Мутность воды в рукавах почти не отличалась от мутности воды в реке выше ВД.

Материалы экспедиционных синхронных измерений  $R$  и  $s$  в 1985–2004 гг. однозначно свидетельствуют о перераспределении стока взвешенных наносов в пользу рук. Протока. В первую очередь, оно объясняется увеличением с 1970-х гг. относительной водоносности этого рукава (его причины рассмотрены в [12, 15]), превысившей 50% суммарного стока воды реки. В результате, относительная доля стока наносов рук. Кубань в 1973–2004 гг. снизилась до 48%. В то же время, по данным [11] рук. Кубань забирает большую часть влекомых наносов реки.

Ниже Раздерского узла разветвления  $R$  и  $s$  подвергаются трансформации по длине рукавов Кубань и Протока. Это – следствие разных по генезису изменений расходов воды, транспортирующей способности потока и русловых процессов, а также дополнительного поступления в рукава наносов со сбросными водами. Различия в данных о величинах  $R$  и  $s$  между г/п на рукавах могли также возникать из-за погрешностей при измерениях мутности и расходов воды.

В довоенный период (1931–1941 гг.) по длине рук. Протока (135.5 км) в основном отмечалось снижение расхода взвешенных наносов, связанное, в первую очередь, со значительным продольным уменьшением расходов воды (табл. 2, рис. 4). По-

следнее объясняется отбором воды в уже тогда функционировавшие каналы Черноерковский и Васильчиков Ерик, оттоком части речной воды ниже г/п Гривенская в боковые ерики и правобережные плавни, прорывами прирусловых защитных дамб во время паводков, потерями воды на испарение и фильтрацию. Мутность воды, наоборот, по длине верхнего и среднего участков рукава изменялась незначительно, и на г/п Гривенская  $s_{гр}$  была приблизительно такой же, как и в ВД. Постепенное уменьшение концентрации взвесей в воде происходило лишь ниже Гривенской. В среднем в этот период в рук. Протока поступало 4.04 млн. т/год взвешенных наносов (или 46% их величины в ВД). К г/п Славянск-на-Кубани сток наносов уменьшался до 96% его величины в истоке рукава, к г/п Гривенская — до 82%, а в устье рукава составлял ~40–55%. Особенно интенсивно наносы отлагались в русле и на пойме в многоводные годы.

В послевоенный период поступление наносов в рук. Протока сократилось, но только по причине антропогенного уменьшения стока наносов самой реки (табл. 1, 2). Одновременно наблюдалось уменьшение средней мутности воды. Продольная трансформация стока наносов, как и ранее, сводилась к постепенному уменьшению его величины, интенсивность которой возрастала по длине рукава (особенно ниже г/п Гривенская). В устье рукава в 1964–1972 гг. поступало ~73% (2.02 млн. т/год) стока наносов в его истоке, что в относительных единицах на 7% меньше, чем для стока воды, но превышает (благодаря обвалованию нижнего участка рук. Протока) количество наносов в 1931–1941 гг.

С перераспределением речных взвесей в Раздерском узле стока в пользу рук. Протока величина стока наносов в рукав не только не увеличилась, а наоборот, в несколько раз уменьшилась (табл. 2). Причина — зарегулирование стока р. Кубани Краснодарским водохранилищем. В 1973–1986 гг. его величина составила 0.48 (или 12%  $W_R$  в 1931–1941 гг.), а в 1987–2004 гг. — 0.95 млн. т/год (23%). Таким же значительным было уменьшение мутности воды. В современный период по длине рукава расходы взвешенных наносов, как и прежде, уменьшаются (рис. 4), но, в отличие от предыдущих периодов, роль гидротехнических сооружений в этом процессе возросла и зависит от типа, размеров и местоположения сооружений. Вынос наносов в море по рук. Протока с 1973 г. сократился до 0.35–0.40 млн. т/год, причем для маловодных 1973–1986 гг. вдольрусловые потери взвесей составляли всего 0.13, а для многоводных 1987–2004 гг. — 0.55 млн. т/год. По сравнению с величиной стока наносов в истоке рукава количество взвешенных наносов, достигших устья рук. Протока, составило 73% в 1973–1986 гг. (для стока воды эта цифра была равной 88%) и всего 42% в 1987–2004 гг. (для стока воды — 90%).

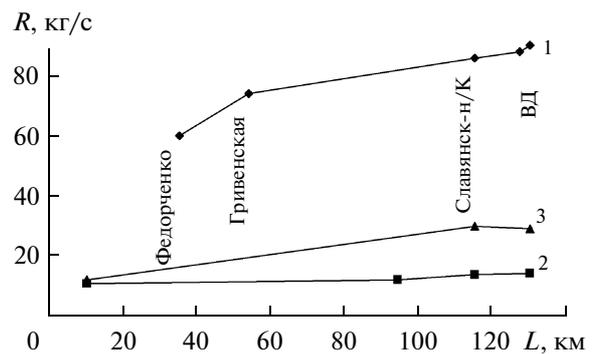


Рис. 4. Изменение средних годовых расходов взвешенных наносов по длине рук. Протока в 1931–1935 (1), 1975–1979 (2) и 1987–2004 гг. (3). Расстояния даны от устьевых створа рук. Протока.

Перед впадением в Азовское море рук. Протока разделяется на два небольших рукава — Левый и Правый. Это — Ачуевский узел разветвления. О распределении стока взвешенных наносов в этом узле можно судить только по данным экспедиционных измерений  $R$  и  $s$ , которые проводятся КУС с 1985 г. Согласно им распределение стока наносов между рукавами не так устойчиво во времени, как, например, в Раздерском узле разветвления. Неустойчивый характер объясняется многообразием факторов (речных, морских и морфологических), влияющих на распределение стока в устье рук. Протока, и сравнительно большими погрешностями измерений расходов воды и взвешенных наносов в зоне влияния моря. В современный период с увеличением расхода наносов в главном рукаве относительная величина поступления взвесей в рук. Правый, как и для стока воды, растет — от 70 до 80% (табл. 3).

По длине рук. Кубань (118.5 км) сток взвешенных наносов заметным образом изменяется: между ВД и истоком рук. Петрушин (в 18.3 км от моря), в Переволокском узле разветвления, в котором рук. Кубань делится на рукава Петрушин и Казачий Ерик, по длине рукавов Петрушин и Казачий Ерик, в Вербинском узле разветвления (в 1.5 км от моря).

В условно-естественный период и до ввода в строй в дельте магистральных каналов (МК) Кизилташского кефалевого хозяйства (ККХ) и Петровско-Анастасиевской оросительной системы (ПА-ОС) расходы наносов и мутность воды по длине рук. Кубань либо немного увеличивались до Переволокского узла разветвления, либо почти не изменялись (рис. 5). Такой тип продольной трансформации стока наносов объяснялся большими уклонами и скоростями течения в рук. Кубань (в сравнении с рук. Протока), почти полным (уже в те годы) обвалованием его русла и дополнительным поступлением в рукав (в районе ст. Варениковской) вод и наносов закубанских рек. В среднем в рук. Кубань за год поступало 4.7 млн. т взвешенных наносов (или ~56% их величины в р. Кубани в ВД). К г/п Переволо-

**Таблица 3.** Относительное распределение стока взвешенных наносов в Ачуевском и Вербинском узлах разветвления (по данным экспедиционных измерений КУС в 1998–2004 гг.)

Ачуевский узел				Вербинский узел				
рук. Протока		рук. Правый	рук. Левый	рук. Петрушин		рук. Голинский	рук. Чайкинский	рук. Средний
кг/с	%	%		кг/с	%	%		
5	100	72.0	28.0	8	100	35.4	50.9	13.7
10	100	75.8	24.2	10	100	36.1	48.9	15.0
15	100	77.3	22.7	15	100	37.2	46.1	16.7
20	100	78.1	21.9	20	100	37.7	44.8	17.6
30	100	78.9	21.1	25	100	38.0	43.9	18.1
40	100	79.3	20.7	30	100	38.2	43.4	18.4
50	100	79.5	20.5	35	100	38.3	43.0	18.7
				40	100	38.4	42.7	18.8
				45	100	38.5	42.5	19.0
				50	100	38.6	42.3	19.1
				55	100	38.7	42.2	19.2

локский узел сток уменьшался до 95% его величины в истоке рукава, тогда как сток воды возрастал до 108%.

В Переволоковском узле разветвления сток взвешенных наносов рук. Кубань в 1933–1940 гг. распределялся между рукавами Петрушин и Казачий Ерик в пропорции 56 и 44%. Наносы в Азовское море в основном выносились по рук. Петрушин, поскольку рук. Казачий Ерик впадает в Ахтанизовский лиман, где большая часть наносов осаждалась, формируя внутреннюю дельту рукава.

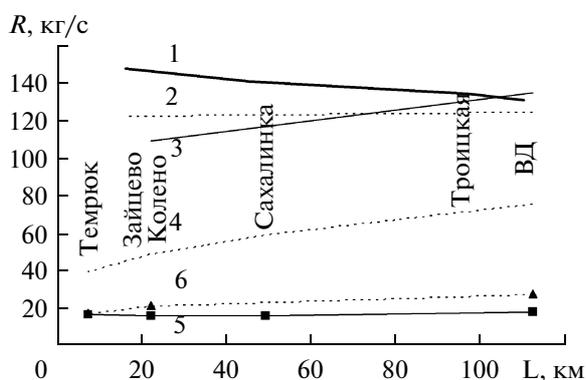
С пуском МК ККХ (в 1952 г.) и МК ПАОС (в 1955 г.) расходы наносов и мутность воды по длине рук. Кубань стали снижаться (рис. 5). Причем это уменьшение сохранилось и после ввода в строй в 1968 г. Варнавинского канала, сбрасывающего свои

воды в рукав в створе бывшего протока Куркуй (у ст. Варениковская).

С 1973 г. вследствие зарегулирования стока р. Кубани и перераспределения наносов в пользу рук. Протока (с 1969 г.) поступление взвешенных наносов в рук. Кубань сократилось в несколько раз (табл. 2, рис. 5). В 1973–1986 гг. его величина составила 0.42 (или 9%  $W_R$  в 1933–1951 гг.), а в 1987–2004 гг. — 0.88 млн. т/год (19%). Таким же значительным было и уменьшение мутности воды.

По длине рукава расходы взвешенных наносов в настоящее время в основном уменьшаются выше Варнавинского канала — на участке сосредоточения основных водозаборов. Это уменьшение характерно не для всех лет, сезонов года и участков русла (рис. 5), поскольку образовавшийся после 1973 г. дефицит наносов в потоке и повышенные скорости течения на перекатах приводили кое-где к размыву русловых отложений и, как следствие, к снижению интенсивности продольного уменьшения  $R$  и  $s$ . Так, по данным разновременных съемок русла [9], в верхней части рукава (118–75 км от устьевого створа по лонии 1985 г.) и в период между 1965 и 1985 гг. доминировали процессы размыва. Ниже по течению (приблизительно до 57-го км) в русле рукава преобладала аккумуляция наносов, а затем до 45-го км вновь следовал размыв.

Ниже Варнавинского канала, на участке разбавления речных вод сбросными, мутность в рук. Кубань вначале уменьшалась (рис. 3, 5), а ниже по течению снова увеличивалась, так как рост транспортирующей способности потока приводил к размыву русловых отложений между 24-м и 9-м км. В итоге величина стока взвешенных наносов в устье рукава в 1973–1986 гг. практически соответствовала



**Рис. 5.** Изменение средних годовых расходов взвешенных наносов по длине рукавов Кубань и Петрушин в 1933–1940 (1), 1946–1951 (2), 1955–1963 (3), 1968–1972 (4), 1973–1978 (5) и 1987–2004 гг. (6). Расстояния даны от устьевого створа рук. Петрушин.

его величине в истоке, несмотря на поступление части наносов в рук. Казачий Ерик, а мутность воды была даже немного выше (табл. 2).

Вдольрусловые потери наносов в рук. Кубань, как и в рук. Протока, увеличились лишь в 90-х гг. XX в., когда поступление воды и наносов в дельту резко возросло (рис. 2). В 1987–2004 гг. потери наносов составили 0.32 млн. т, или 36% величины стока наносов в истоке рукава. Для стока воды этот показатель составил 11% [15]. По данным съезок русла в 1985 и 2001 гг. [9] участок аккумуляции стал более протяженным – от истока рукава до 40-го км. Ниже по течению и до самого моря в русле преобладал размыв дна. В Азовское море в 1987–2004 гг. рук. Кубань выносил ~0.56 млн. т взвешенных наносов в год.

Количество поступающих в рук. Казачий Ерик наносов начало уменьшаться с конца 1930-х гг. вслед за снижением его водоносности [12, 15, 18]. Большая интенсивность этого процесса сохранялась вплоть до конца 70-х гг. XX в., после чего распределение взвешенного материала в узле в 80-х и первой половине 90-х гг. XX в. несколько стабилизировалось. В конце 1990-х гг. произошло новое перераспределение стока взвешенных наносов в пользу рук. Петрушин, в силу малой его величины оставшееся почти незамеченным на г/п Темрюк. В 1984–1990, 1991–1995, 1996–2000 и 2001–2004 гг. в рук. Казачий Ерик в среднем уходило соответственно 6,8, 6,0, 2,9 и 2,3% стока наносов рук. Кубань. К г/п Дубовый Рынок (8 км от истока Казачьего Ерика) эта величина становилась еще меньше и составляла соответственно 3,2, 3,0, 1,9 и 2,7%. В целом, современное распределение стока взвешенных наносов между рукавами Петрушин и Казачий Ерик примерно соответствует распределению стока воды.

Перед впадением в Азовское море рук. Петрушин разделяется в Вербинском узле разветвления на три небольших рукава – Чайкинский, Средний и Голлинский. Количество выносимых этими рукавами в море взвешенных наносов можно оценить на основе данных экспедиционных измерений, которые КУС начала систематически выполнять лишь с 1984 г. Эти данные показывают, что распределение стока наносов между приморскими рукавами так же неустойчиво, как и в Ачужевском узле разветвления. В целом, в последние годы (1998–2004 гг.) больше всего наносов поступало в рук. Чайкинский (табл. 3), а меньше всего в рук. Средний. Кроме того, с увеличением стока наносов главного рукава относительная величина поступления взвесей в рук. Чайкинский снижается с 51 до 42%, а у смежных рукавов соответственно растет, причем с большей интенсивностью у рук. Средний – с 13,7 до 19,2%.

## БАЛАНС НАНОСОВ В ДЕЛЬТЕ

Приближенное уравнение баланса наносов в дельте р. Кубани для многолетнего периода (в средних годовых величинах) можно представить в виде

$$W_{(R+G)_{\text{Река}}} + W_{(R+G)_{\text{Бок}}} = \sum W_{(R+G)_{\text{Рук}}} + \sum W_{(R+G)_{\text{Г}}} + \Delta W_{(R+G)_{\text{Дельта}}} \quad (2)$$

Приходную часть уравнения составляют поступление взвешенных  $R$  и влекомых  $G$  наносов в дельту по руслу р. Кубани  $W_{(R+G)_{\text{Река}}}$  и с водами притоков и сбросных каналов  $W_{(R+G)_{\text{Бок}}}$ , а расходную часть – вынос наносов в море по рукавам  $\sum W_{(R+G)_{\text{Рук}}}$  и гирлам  $\sum W_{(R+G)_{\text{Г}}}$ , аккумуляция речных наносов в дельте  $W_{(R+G)_{\text{Дельта}}}$ .

Суммарный сток наносов в ВД может быть оценен только по данным о расходах взвешенных наносов на г/п Тиховский и соотношению  $G$  и  $R$ . Для периода с отсутствием влияния водохозяйственных мероприятий на сток р. Кубани (1931–1941 гг.) величина  $G/R$  принята равной 0,05, а для условий зарегулированного стока (1973–2004 гг.) – 0,15. Соотношение для первого периода получено автором с использованием методики Н.И. Алексеевского [1, 2] путем расчета скоростей смещения и параметров донных гряд в основные фазы водного режима в зависимости от гидрографического порядка реки. Были также приняты во внимание оценки величины стока влекомых наносов для г/п Краснодар из [17]. Для современного периода величина стока влекомых наносов в ВД была рассчитана автором по материалам экспедиционных работ, выполненных сотрудниками географического факультета МГУ и КУС в августе 2004 г. Программа работ включала измерение скоростей течения потока и движения донных гряд, мутности воды, определение расходов воды. В результате расчетов и измерений было получено, что в условно-естественный период суммарный годовой сток наносов реки в ВД был равен в среднем ~9,25 млн. т, а в зарегулированных условиях он сократился в 5,6 раз и составил ~1,64 млн. т.

Дополнительное поступление наносов в дельту с водами притоков и сбросных каналов определить сложно, поскольку сетевые и экспедиционные измерения  $s$ ,  $R$  и  $G$  на притоках и в каналах не проводились. До начала интенсивного хозяйственного освоения дельты его величину формировали наносы р. Кирпили, зарегулированной 11 малыми водохранилищами (объемом от 1,1 до 8 млн. м<sup>3</sup>; первое водохранилище создано в 1936 г.), и наносы кубанских рек, поступающие в рук. Кубань в паводке и паводки по протоку Куркуй. Годовой сток наносов р. Кирпили приблизительно оценен (по данным рек-аналогов) в 3 тыс. т/год, протока Куркуй – в 130 тыс. т/год, т.е. немногим более 1% сум-

марной величины поступления наносов в дельту (ВД) и меньше погрешности подобных расчетов.

После создания Варнавинского канала, насосной станции № 4 Марьяно-Чебургольской оросительной системы и Джерелиевского Главного коллектора боковой приток воды в дельту существенно возрос [15], но сток наносов на боковых границах дельты не только не увеличился, а, наоборот, уменьшился (приблизительно до 0.07 млн. т/год). Причина – в дельту сбрасываются практически лишённые наносов коллекторно-дренажные воды с рисовых чеков (с мутностью  $\sim 45$  г/м<sup>3</sup>) и “осветленные” воды из Варнавинского водохранилища ( $\sim 25$  г/м<sup>3</sup>).

Сток взвешенных наносов в Азовское море по рукавам дельты Кубани оценен по данным измерений на г/п Слободка и Темрюк (замыкающие створы соответственно на рукавах Протока и Кубань) и других ранее функционировавших в низовьях основных рукавов. Влекомые наносы рукавов почти полностью остаются в дельте и на устьевых барах рукавов. Таким образом, с водами рукавов Протока и Кубань в Азовское море до 1941 г. выносилось приблизительно 4.01–5.03 млн. т взвешенных наносов в год, или около 43–54% величины  $W_{(R+G)_{\text{Река}}}$  в ВД, а после сооружения Краснодарского водохранилища – 0.88 млн. т в год, или 54%. Это стало одной из причин того, что в настоящее время основной процесс на морском крае дельты Кубани – абразия [16].

Наносы Казачьего Ерика в основном оседают в Ахтанизовском лимане, формируя здесь внутреннюю дельту рукава. Поэтому ту часть наносов Казачьего Ерика, которая все же достигает моря, следует включать в  $\sum W_{(R+G)_r}$ . В июле 1931 г. мутность воды в Ахтанизовском лимане от устьевого створа Казачьего Ерика до Пересыпского гирла, соединяющего лиман с Азовским морем, уменьшалась почти вдвое (с 200 до 105 г/м<sup>3</sup>); в июле 1955 г. – уже в три раза (с 314–406 до 119–139 г/м<sup>3</sup>) [19]. Таким образом, при условно-естественном режиме в лимане оставалось приблизительно от 50 до 70% взвесей, приносимых Казачьим Ериком. Поступление наносов в море по другим гирлам, а также через Пересыпское гирло в 1973–2004 гг., рассчитано с учетом данных по результирующему водообмену лиманов с морем [15] и средней мутности воды в лиманах и гирлах, равной  $\sim 70$  г/м<sup>3</sup> [8]. Причем в этих наносах высока доля органики (от 10 до 50%). Как и в случае с каналами, для устьевых створов гирл  $W_G$  принят равным  $\sim 0$ . В итоге по гирлам в Азовское море могло дополнительно поступать  $\sim 0.84$  млн. т наносов в год в 1931–1941 гг. и 0.17 млн. т в 1973–2004 гг.

Суммарные потери наносов в дельте, определяемые как остаточный член уравнения (2), в условно-естественный период достигали 4.53–3.51 млн. т/год, или 48–37% суммарного поступления наносов в дельту. В зарегулированных условиях их величина

сократилась до 0.66 млн. т/год, или 38% суммарного поступления наносов в дельту.

## ВЫВОДЫ

Исследования, выполненные автором статьи на обширном материале стационарных и экспедиционных наблюдений, позволили детально изучить особенности и факторы вдольрусловых и многолетних изменений основных характеристик стока взвешенных наносов в нижнем течении р. Кубани; оценить характеристики стока взвешенных и влекомых наносов в прошлом и в современных условиях, степень влияния на сток наносов гидротехнических и водохозяйственных мероприятий; сделать выводы о характере возможных изменений стока взвешенных наносов р. Кубани в XXI в.; выявить закономерности и количественно оценить трансформацию стока наносов в дельте Кубани; рассчитать баланс наносов в дельте; получить многочисленные зависимости прогностического и расчетного характера.

В результате естественной изменчивости и крупномасштабных хозяйственных мероприятий величина и режим стока наносов в нижнем течении и дельте р. Кубани заметно изменились. В многолетних изменениях стока наносов Кубани выделены три характерных периода, различающихся по набору природных и антропогенных факторов, условиям формирования и перемещения речных наносов. Основные нарушения естественного режима стока наносов Нижней Кубани связаны с вводом в строй в 1973 г. Краснодарского водохранилища, приведшего к многократному уменьшению стока наносов реки и, как следствие, к усилению эрозионных процессов в ее русле и руслах дельтовых рукавов, к размыву морского края дельты и другим морфологическим процессам.

В дельте на режим стока наносов и его продольную трансформацию дополнительно влияют распределение и перераспределение стока воды и наносов по дельтовым водотокам, русловые процессы и эволюция дельтовых узлов разветвления, многочисленные водозаборы и водосбросы, русловые работы, морские факторы и др. В целом, сток наносов от ВД к морю уменьшается, и значительная часть наносов (до 40%) остается в дельте. Распределение стока взвешенных наносов в узлах разветвления в среднем пропорционально распределению стока воды между рукавами, имеет устойчивый характер в ВД и крайне неустойчивый в приморских узлах разветвления.

В XXI в. на сток наносов реки будут оказывать влияние величина и режим стока воды реки, величины максимальных расходов воды, интенсивность русловых деформаций, водохозяйственные мероприятия в русле и на водосборе и др. В общем ожидается, что поступление взвешенных наносов в

дельту и, соответственно, в море в будущем может заметно сократиться.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И.* Характеристики руслового рельефа и их связь со структурой речной сети // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1987. № 3. С. 41–47.
2. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 202 с.
3. *Богучарсков В.Т., Иванов А.А.* Дельта Кубани. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1979. 108 с.
4. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 270 с.
5. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. Шикломанова И.А. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
6. *Добровольский С.Г.* Проблема глобального потепления и изменений стока российских рек // Вод. ресурсы. 2007. Т. 34. № 6. С. 643–655.
7. *Зубкова К.М.* Влияние антропогенных факторов на формирование стока взвешенных наносов р. Кубани в нижнем течении // Тр. ГГИ. 1990. Вып. 337. С. 95–108.
8. *Иванов А.А.* Заносимость кубанских лиманов // Тр. ГОИН. 1978. Вып. 139. С. 58–64.
9. *Иванов В.В., Кортаев В.Н.* Влияние водохозяйственных мероприятий на деформации русла Нижней Кубани // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2006. № 5. С. 54–60.
10. *Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др.* Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.
11. *Кортаев В.Н., Иванов В.В., Римский-Корсаков Н.А.* Русловая морфодинамика дельтовых рукавов Кубани // Материалы XVII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Краснодар, 2002. С. 18–21.
12. *Магрицкий Д.В., Иванов А.А.* Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на режим стока Нижней Кубани // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2003. № 5. С. 46–54.
13. *Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М. и др.* Климат России в XXI веке. Ч. 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 5–21.
14. *Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В.* Современный водный баланс дельты Кубани и расчет притока кубанских вод в Азовское море // Тр. ГОИН. 2008. Вып. 211. С. 222–246.
15. *Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Иванов А.А., Долженко Н.П.* Современные гидролого-морфологические процессы в устьевой области Кубани // Семнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Краснодар, 2002. С. 36–40.
16. *Михайлов В.Н., Рогов М.М., Макарова Т.А., Полонский В.Ф.* Динамика гидрографической сети неприливых устьев рек. М.: Гидрометеиздат, 1977. 294 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 8. 450 с.
18. *Симов В.Г.* Гидрология устьев рек Азовского моря. М.: Гидрометеиздат, 1989. 327 с.
19. *Симонов А.И.* Гидрология устьевой области Кубани. М.: Гидрометеиздат, 1958. 140 с.
20. *Arnell N.W.* Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: A global perspective // Hydrol. Earth Syst. Sc. 2003. № 7. P. 619–641.
21. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Palutikof S.Wu, Palutikof J.P. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.
22. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of IPCC. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 2007. 976 p.
23. *Milly P.C.D., Dunne K.A., Vecchia A.V.* Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate // Nature. 2005. V. 438. № 7066. P. 347–350.