

Е. Д. Гопченко¹, д-р геогр. наук, профессор

А. И. Черой², инженер

Л. В. Лихоша³, аспирант

¹Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, Одесса-16, 65016, Украина

²Дунайская ГМО ГМС Украины,
ул. Героев Сталинграда, 36,
Измаил, 68600, Украина

³Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,
кафедра физической географии и природопользования,
ул. Дворянская, 2, Одесса-82, 65082, Украина

К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В ДЕЛЬТЕ ДУНАЯ

Вопрос оценки величины стока наносов Дуная интересовал многих исследователей. В публикациях разных периодов сведения о стоке наносов Дуная отличаются большим разнообразием. Во время регулярных стационарных и экспедиционных гидрологических исследований на украинском участке реки Дунай были измерены единичные величины мутности, расход воды и взвешенных наносов, по которым была вычислена средняя мутность воды в день измерения. На основе полученных данных был рассчитан среднегодовой расход взвешенных наносов с использованием уточненных коэффициентов перехода для Дуная. Рассчитанные значения стока взвешенных наносов оказались выше архивных значений в среднем на 17%. Однако сток взвешенных наносов реки Дунай по-прежнему уменьшается.

Ключевые слова: мутность, проба воды, расход воды, расход взвешенных наносов, единичная мутность, средняя мутность, зависимость, связь.

Введение

По величине стока наносов Дунай намного опережает другие реки Европы. В условиях естественного режима сток взвешенных наносов Дуная составлял не менее 60 млн т/год, что намного больше стока наносов Волги (14 млн т/год до зарегулирования), самой крупной реки Европы с наибольшей площадью водосбора. Интерес к оценке величины стока наносов Дуная проявляли многие исследователи, в связи с необходимостью усиления использования ресурсов реки. Однако, в опубликованных ранее сведениях о стоке наносов Дуная отмечается большой разброс. В литературе встречаются средние многолетние величины стока взвешенных наносов Дуная от 42 до 84 млн т/год. В качестве характерных примеров можно указать, что приводятся такие данные: от 61 до 84 (в среднем 65 млн т/год) за 1861–1922 гг. [Петреску, 1963]; 67,5 млн т/год за 1921–1960 гг. [Гидрология..., 1963]; 42,3 млн т/год за 1961–1993 гг. [Михайлов, 1997].

Во многих работах, особенно изданных недавно [Левашова, 2001; Левашова и др., 2002, 2004; Михайлов, 1997], указывается, что, начиная с середины XX века, сток взвешенных наносов на Нижнем Дунае заметно уменьшился в результате отложения наносов в водохранилищах в районе Железных Ворот. Происходят также и другие изменения, которые говорят о необходимости постоянной корректировки стока наносов. В этой связи тема статьи является *актуальной*.

Целью данной работы было определение стока взвешенных наносов за период 1961–2005 гг. с использованием уточненных коэффициентов перехода для Дуная и его Килийского рукава.

Учитывая то, что сток наносов Дуная является одним из главных факторов, определяющих формирования обширной дельты в устьевой области реки, полученный материал исследований позволяет установить теоретические закономерности формирования отложений дельтового конуса. В этой связи можно считать статью *теоретически* значимой. Она также имеет и *практическое* значение, поскольку полученные результаты и выводы могут быть использованы в процессе оптимизации природопользования в дельте.

Фактический материал и методы исследований

В основу статьи легли материалы, полученные в ходе регулярных стационарных и маршрутно-экспедиционных гидрологических и литодинамических исследований на украинском участке реки Дунай. Они проводились Дунайской гидрометеорологической обсерваторией (ДГМО). В работе использована база данных этой организации за 1961–2005 гг., в том числе — сведения о расходах воды и взвешенных наносов на гидростворах реки Дунай (“створ 54 миля”) и Килийского рукава (“створ 115 км”). Использовались данные о концентрациях взвеси в воде на постах “Рени” и “Измаил” (рис. 1.). Пробы отбирались ежедневно в течение 45 лет, а потому количество проб составило около 16500 на одном створе или poste, а на четырех — 66000. Этого более, чем достаточно, чтобы надежно обосновать результаты и выводы с высшей степенью достоверности.

При измерении расходов взвешенных наносов в дельте Дуная применялись два типа батометров и два способа отбора проб на мутность [Лучшева, 1976]. Батометр-бутылка в грузе и интеграционный способ отбора применялись в 1961–1965 и 1986–2003 гг. Вакуумный батометр и двухточечный способ (0,2h, 0,8h) измерения применялись в 1974–1985 и 2004–2005 гг. При этом в конечном итоге отбирались средние по створу и глубине пробы, по данным опробования в русле на горизонтах через 1 м глубины.

Считается, что оба метода являются одинаково надежными, т. е. значение средней мутности воды не зависит от способа измерения.

Методика расчета ежедневных расходов взвешенных наносов в вершине дельты, принятая в ДГМО, следующая. На гидростворе “54 миля”, одновременно с измерениями расходов воды, проводятся измерения расходов

взвешенных наносов. По этим данным вычислялась средняя мутность воды в день измерения [Лучшева, 1976]. На посту “Рени” ежедневно отбираются единичные пробы с мутностью ρ_{ed} . Между средней мутностью ρ_{cr} на гидростворе “54 миля” и мутностью единичных проб ρ_{ed} на посту “Рени” в дни измерений Q и R , строятся графики связи вида $\rho_{cr} = f(\rho_{ed})$. Эта же схема расчета применена на гидростворе 115 км и посту “Измаил”.

В качестве основных методов исследований были применены методы полевых маршрутно-экспедиционных и стационарных исследований на сети створов и пунктов измерений (рис. 1), а также камеральные аналитические, картографические, сравнительно-географические, гидрометеорологические и прочие методы.

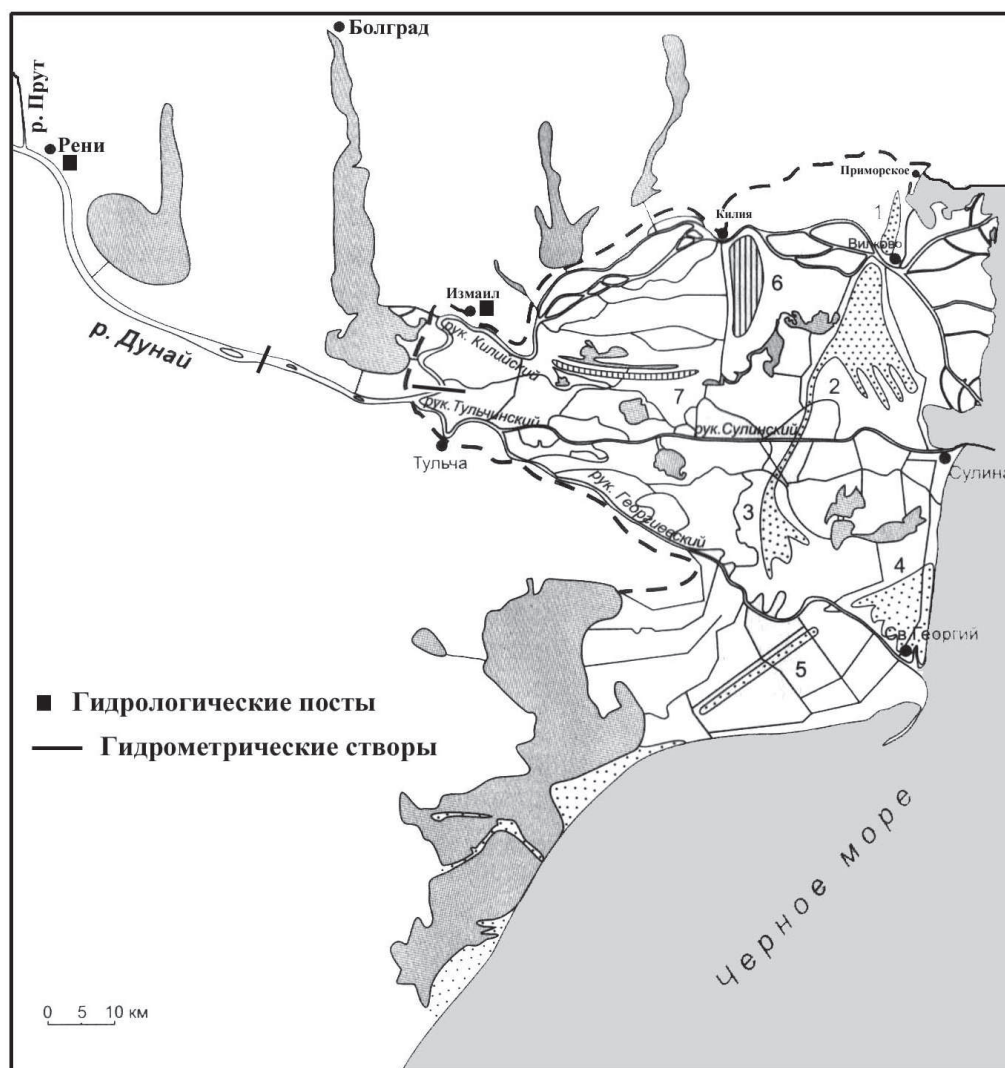


Рис. 1. Схема гидрографической сети и расположения гидростворов и гидрологических постов в устьевой области и дельты Дуная

В зависимости от характера и полноты исходных данных, определение средних суточных (ежедневных) расходов взвешенных наносов может быть осуществлено с использованием двух методов [Гидрология дельты... 2004]. Первый состоит в установлении связи между мутностями единичных проб

воды ($\rho_{ед}$), отобранных на посту в день измерения расхода воды (Q) и взвешенных наносов (R), и средней мутностью потока ($\rho_{ср}$), полученной в результате этих измерений. Второй метод предполагает установление зависимости между измеренными расходами воды (Q) и расходами взвешенных наносов (R). Имея связи $R = f(Q)$ для всего диапазона колебания уровней воды или отдельно по каждой фазе водности, R определяется как функция от Q . Более надежный и полный учет стока наносов в дельте Дуная может быть осуществлен с применением первой схемы, т. к. мутность дунайской воды имеет большую изменчивость при фиксированном значении расхода воды.

Результаты исследований и их анализ

В практике работы ДГМО для построения графиков связи $\rho_{ср} = f(\rho_{ед})$ используются данные о $\rho_{ср}$, полученном по итогам измерения расходов взвешенных наносов и единичной мутности $\rho_{ед}$ на ближайшем к гидроствору посту в день измерения R . Переходной коэффициент k устанавливается ежегодно, либо за несколько последних лет для каждого гидроствора отдельно. Пробы единичной мутности отбирались на постах “Рени” и “Измаил” в 10–20 м от левого берега с применением батометра-бутылки. Пост “Рени” расположен на 26,5 км выше “створа 54 миля”, а “Измаил” — в 21,4 км ниже гидрологического “створа 115 км”.

Полагалось, что единичная мутность $\rho_{ед}$ на посту во всех случаях должна быть меньше средней мутности потока. Это предположение основано на следующем соображении: скорость течения и глубина в месте отбора единичных проб всегда меньше их средних значений в створе поста. Следовательно, способность транспорта наносов возле самого берега меньше по сравнению со средним транспортом всего потока. Случаи $\rho_{ед} \geq \rho_{ср}$, на постах “Рени” и “Измаил” объясняются существенной временной и пространственной изменчивостью мутности и неточным учетом времени добегания от поста до гидрологического створа. В среднем же за сутки при достаточно большом количестве отобранных проб для определения $\rho_{ед}$ и $\rho_{ср}$ единичная мутность всегда должна быть меньше средней при любой фазе водности.

С целью уточнения зависимости между $\rho_{ед}$ на посту “Измаил” и средней мутностью потока в створе поста в 1999–2000 гг. в ДГМО проводился комплекс специальных гидрометрических наблюдений. Они состояли в том, что в течение 30 минут отбиралось 5 проб на мутность. Первая проба отбиралась в постоянном пункте для отбора проб единичной мутности на посту, вторую, третью, четвертую и пятую — на расстоянии соответственно 40–50 м, 100–150 м, 250–300 м и 400–450 м от левого берега. Все пробы отбирались интеграционным способом батометром-бутылкой. Ширина русла в этом месте составляет около 500 м. Наблюдения проводились в различные фазы водного режима. Анализируя полученные материалы, удалось установить, что средняя мутность потока в створе поста всегда больше чем единичная мутность, отбираемая на посту.

Из вышесказанного, следует что случаи $\rho_{ед} \geq \rho_{ср}$ должны быть исключены из расчетных схем. Остальные данные, объемом более 80% от первоначальных, отвечают условию $\rho_{ед} < \rho_{ср}$ и включают в себя значения как малой, так и большой мутности.

Условие $\rho_{ср} \geq \rho_{ед}$, было принято и для поста “Рени”. При этом объем выборки также составил более 80% от общего количества расходов взвешенных наносов, измеренных в 1974–2005 гг.

Русло реки Дунай в створе поста “Рени” (68,5 миля) и на гидрологическом “створе 54 миля” за последние 40 лет остается относительно стабильным. Килийский рукав за этот же период времени находился в стадии слабого отмирания [Михайлов, 1997]. Поэтому резкие изменения соотношения между $\rho_{ср}$ и $\rho_{ед}$ могли быть связаны с изменением или места отбора единичной мутности на посту, или способа отбора. В связи с этим исходные границы временных интервалов были установлены в пределах тех периодов, когда места и способы отбора проб на мутность оставались неизменными.

В табл. 1 приводятся полученные переходные коэффициенты от единичной мутности к средней ($k_{ум.}$) и средние значения переходных коэффициентов по архивным данным (k_a) за различные периоды (годы). С использованием многолетних данных о среднегодовых значениях единичной мутности $\rho_{ед}$, расходов воды, данных о внутригодовой изменчивости стока на постах “Рени” и “Измаил”, а также уточненных переходных коэффициентов, был выполнен расчет среднегодового стока взвешенных наносов (табл. 2.).

Таблица 1

Переходные коэффициенты от единичной мутности $\rho_{ед}$ к средней $\rho_{ср}$ за различные периоды (с 1961 по 2005 гг.)

Период, годы	Рени				Измаил			
	Число измеренных расходов	Число случаев $\rho_{ед} < \rho_{ср}$	$K_{ут}$	k_a	Число измеренных расходов	Число случаев $\rho_{ед} < \rho_{ср}$	$k_{ум}$	k_a
1961-1965	18	8	—	1,1	18	16	1,4	1,0
1966-1973	16	15	1,3	1,1	16	16	1,4	1,0
1974-1978	20	19	1,6	1,4	22	17	1,5	1,2
1979-1983	29	25	1,8	1,9	31	28	1,9	1,6
1984-1987	23	22	2,3	1,9	23	20	2,1	1,8
1988-1992	37	31	2,0	2,2	36	30	1,8	2,1
1993-1999	28	26	1,8	1,5	29	25	1,7	1,4
2000-2005	30	19	1,4	1,6	30	17	1,4	1,3

Алгоритм получения среднегодовых расходов взвешенных наносов за каждый год следующий: среднегодовая единичная мутность ($\rho_{ед ср. год}$) умножается на переходной коэффициент $k_{ум}$, а затем на среднегодовой расход воды $Q_{ср. год}$. В результате, полученная величина расхода взвешенных наносов R^* не является окончательной, поскольку не включает в себя поправку на внутригодовую изменчивость стока. В качестве показателя внутригодовой изменчивости речного стока нами был предложен коэффициент $a = R_{ар} / (Q_{ср. год} \cdot \rho_{ср. год архив} / 1000)$, где $R_{ар}$ — архивное значение среднегодо-

вого расхода взвешенных речных наносов, $\rho_{\text{ср. год архив}}$ — архивное значение среднегодовой мутности воды. Таким образом, уточненный среднегодовой расход взвешенных наносов ($R_{\text{ср. год. уточ}}$) равен произведению R^* на коэффициент a .

Таблица 2

Рассчитанные и архивные значения среднегодового стока взвешенных наносов (W_R) за различные периоды 1961–2005 гг.

Период, годы	Гидроствор “54 миля”		Гидроствор “115 км”	
	$W_{R \text{ архив}}$ (млн. т/год)	$W_{R \text{ уточ}}$ (млн. т/год)	$W_{R \text{ архив}}$ (млн. т/год)	$W_{R \text{ уточ}}$ (млн. т/год)
1961-1965	41,6	55,7	27,2	37,2
1966-1973	46,0	54,1	28,4	39,7
1974-1978	40,9	47,9	24,7	31,9
1979-1983	50,6	47,4	28,9	34,4
1984-1987	41,8	50,7	24,5	30,4
1988-1992	36,4	31,5	22,1	19,7
1993-1999	23,8	32,2	13,6	17,1
2000-2005	22,5	22,1	10,8	11,8

Выводы

Фактический материал, полученный в ходе регулярных стационарных и маршрутно-экспедиционных исследований и обработанный в камеральных условиях был систематизирован, проанализирован и интерпретирован. Он диктует следующие выводы:

1) Мутность дунайской воды, поступающая в дельту, имеет большую изменчивость в многоводные фазы водного режима, что может подтвердить например 2006 г.

2) Подсчет ежедневных значений мутности речной воды по графикам связи $\rho_{\text{ср}} = f(\rho_{\text{ед}})$, должен осуществляться лишь при надежном обосновании коэффициента перехода k . При определении переходных коэффициентов рекомендуется пользоваться результатами измерений нескольких лет и в условиях неизменного места и способа отбора проб на мутность.

3) Значения стока взвешенных наносов, рассчитанные за период 1961–2005 гг. с использованием уточненных коэффициентов перехода для Дуная и его Килийского рукава оказались выше архивных значений на 11% и 24%, соответственно. Это вполне приемлемая точность и кардинально не влияет на достоверность конечного результата.

4) Долговременный сток взвешенных наносов реки Дунай по-прежнему уменьшается, что нашло свое подтверждение и в данном исследовании. Причины являются естественными и искусственными.

5) Восстановление Украиной судоходства по Килийскому рукаву практически не влияет на естественный сток реки и не искажает результаты, полученные с помощью приведенной здесь методики.

Литература

1. *Гидрология дельты Дуная* // Под ред. В. Н. Михайлова и В. Н. Морозова. — Москва: ГЕОС, 2004. — 448 с.
2. *Левашова Е. А.* Естественные и антропогенные изменения стока воды и наносов в устье Дуная за 160 лет // Вестник Московск. ун-та. География. — 2001. — № 5. — С. 46–50.
3. *Левашова Е. А., Михайлов В. Н., Михайлова М. В., Морозов В. Н.* Естественные и антропогенные изменения стока воды и наносов в устье Дуная // Водные ресурсы. — 2004. — Том. 31. — № 3. — С. 261–272.
4. *Лучшева А. А.* Практическая гидрология. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. — 440 с.
5. *Михайлов В. Н., Вагин Н. Ф., Морозов В. Н.* Основные закономерности гидрологического режима дельты Дуная и его антропогенных изменений // Водные ресурсы. — 1981. — № 6. — С. 22–44.
6. *Михайлов В. Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. — Москва: ГЕОС, 1997. — 413 с.
7. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам* // Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. — Часть 1. — Вып. 6. — 235 с.
8. *Петреску И. Г.* Дельта Дуная. Происхождение и развитие. — Москва: Изд-во Иностран. лит., 1963. — 279 с.
9. *Шуйский Ю. Д.* Закономерности формирования морского края и дна устьевых взморья Килийской дельты Дуная // Актуальні екологічні проблеми Півдня України: Зб. наук. праць. — Херсон: Вид-во ПП Вишемирський В. С., 2006. — С. 187–199.

Є. Д. Гопченко¹, О. А. Черой², Л. В. Ліхоша³

¹Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, Одеса-16, 65016, Україна

²Дунайська ГМО ГМС України,
вул. Героїв Сталінграда, 36,
68600, Ізмаїл, Україна

³Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
кафедра фізичної географії і природокористування,
вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

ДО ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ СТОКУ ВЗВАЖЕНИХ НАНОСІВ В ДЕЛЬТІ ДУНАЮ

Резюме

Питання оцінки величини стоку наносів Дунаю цікавило багатьох дослідників. У публікаціях різних періодів дані про стік наносів Дунаю характеризується великим різноб'єм. Під час регулярних стаціонарних і експедиційних гідрологічних досліджень на українській ділянці ріки Дунай були виміряні одиничні величини мутності, витрата води і зважених наносів, на основі яких була розрахована середня мутність води в день вимірювання. На основі отриманих даних була обчислена середньорічна витрата зважених наносів з використанням уточнених коефіцієнтів переходу для Дунаю. Розраховані значення стоку зважених наносів виявилися вище архівних значень в середньому на 17%. Однак стік зважених наносів ріки Дунай по колишньому зменшується.

Ключові слова: суспензія, взірці води, витрати води, витрати мулля, одинична каламутність, пересічна каламутність, залежність, зв'язок.

E. D. Gopchenko¹, A. A. Cheroy², L. V. Likhosha³

¹State Ecological Institute of Odessa,
Lvovskaya St., 15, Odessa-16, 65016, Ukraine

²GMO of Danube
Geroev Stalingrada St., 36, Izmail, 68600, Ukraine

³National Mechnikov's University of Odessa,
Physical Geography Department,
Dvoryanskaya St., 2, Odessa-82, 65082, Ukraine

TO A QUESTION ON THE OF DRAIN OF THE WEIGHED DEPOSITS IN DELTA OF DANUBE

Summary

The question of an estimation of size of a drain of deposits of Danube interested many researchers. In publications of the different periods data on a drain of deposits of Danube differ big difference. During regular stationary and forwarding hydrological researches on the Ukrainian site of the river Danube individual sizes muddiness of water, the charge of water and the weighed deposits on which average has been calculated muddiness of water in day of measurement have been measured. On the basis of the received data the mid-annual charge of the weighed deposits with use of the specified factors of transition for Danube has been designed. The designed values of a drain of the weighed deposits appeared above archival values on the average on 17%. However the drain of the weighed deposits of the river Danube on former decreases.

Key words: water dust, water samples, water discharge, suspension discharge, individual muddiness of water, average muddiness of water, dependence, connection.