

УДК 556. 482.6 (477.74)

DOI: 10.18524/2303-9914.2020.1(36).205162

Л. В. Орган, викладач
кафедра фізичної географії і
природокористування,
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова, вул. Дворянська 2,
Одеса-82, 65082, Україна
delta_fox@ukr.net

ПРОВІДНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ НАНОСІВ В ОСНОВНИХ ГИРЛАХ КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

В статті виявлені провідні закономірності надходження алювіального матеріалу на узмор'я Кілійської дельти Дунаю та їх розподілу. Надходження контролюється стоком води та їх каламутністю, а розподіл – переважно хвильовим режимом та хвильовими течіями. В минулому десятилітті на морську окраїну в зону хвильової переробки в середньому надходить 250–350 кг/сек наносів з основних гирл дельти. Близько 3–5% є крупними донними, що витрачаються на первинні форми берегового рельєфу, які нарощують фронтальний бік дельти. Підтверджено висновки інших авторів, що під час межені на узмор'я викидається 100–200 г/м³ наносів в крупних руслах, а в малих 10–50 г/м³. При повній значна кількість зависі транспортується за межі підводного схилу русловими течіями. Проте більша частка наносів ($\geq 0,05$ мм) залишається біля берегів і витрачається на нарощування морської окраїни.

Ключові слова: Дунай, рукав, наноси, гранулометричний склад, дельта, каламутність, швидкість.

ВСТУП

Сток наносів є одним з головних факторів, який визначає формування дельти в гирлі річки Дунай (рис. 1). Розподіл стоку наносів впливає на масштаби і темпи наростання дельти, формування руслової мережі та гирлових барів, морського краю та ін. Відповідно, визначається розвиток ряду інших процесів. Всі вони разом узяті призводять до формування дельтового наносного конуса, з певним складом наносів, їх щільністю, обводненістю, розчинами, частотою вкритістю водним шаром під час паводкового затоплення і впливу вітрових нагінових явищ.

Оцінкою величини стоку наносів Дунаю займалися багато дослідників. Однак в опублікованих раніше відомостях зазначається великий різнобій. До того ж недостатньо повно визначено гранулометричний склад річкових наносів по площі перетину русла. У літературі зустрічаються пересічні багаторічні

величини стоку завислих наносів Дунаю – від 42 до 84 млн. т/рік. У найбільш пізніх публікаціях наводяться дані від 61 до 84, пересічно 65 млн. т/рік за 1861–1922 рр. [11]. У багатьох роботах, особливо виданих нещодавно [8, 9], вказується, що, починаючи з середини ХХ століття, стік завислих наносів на Нижньому Дунаї помітно зменшився в результаті відкладення наносів у водосховищах. З іншого боку, підвищилися вимоги від природокористування, зараз потрібен більш детальний і різноманітний матеріал для обґрунтування позитивного використання природних ресурсів дельти. Тому тему статті треба вважати актуальною.



Рис. 1. Схема географічного положення вивченої частини дельти Дунаю (відзначено темним чотирикутником і показано чорною стрілкою) на узбережжі Чорного моря

Метою даної роботи є виявлення основних закономірностей розподілу наносів по головним рукавам Кілійської дельти Дунаю та їх вплив на уздовж-берегові потоки наносів та еволюцію морської окрайки дельти. Відповідно, головними завданнями даної статті є: а) встановлення кількості наносів, що надходять в окремі рукава дельти; б) виявлення гранулометричного складу надходжених наносів з річки в море; в) оцінка ступеня впливу розподілу і перерозподілу наносів за основними рукавами дельти на процеси її формування.

Отриманий матеріал досліджень дозволяє встановити теоретичні закономірності формування відкладень дельтового генезису в умовах активного взаємовпливу річки і моря. У зв'язку з цим можна вважати статтю *теоретично* значущою. Вона також має і *практичне значення*, оскільки отримані результати і висновки можуть бути використані в процесі оптимізації природокористування в дельті. У зв'язку з тим, що дані, отримані в ході досліджень, дають більш точний результат, тема роботи є досить важливою для розуміння проце-

сів дельтоутворення, механізмів розвитку морської крайки дельти, етапності прибережно-морської диференціації вихідного алювіального матеріалу та його розподілу уздовж фронтального зовнішнього флангу дельти. Наведені фактичні дані та їх теоретичний аналіз представлені вперше. Отримані основні висновки характеризуються науковою новизною.

ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу статті лягли матеріали обробки проб завислих наносів і донних відкладень, відібраних в основних рукавах Кілійської дельти Дунаю, а також синхронно вимірюваних витрат води (рис. 2). Період відбору проб відбувався в 2005, 2006, 2015, 2016 роках, в річищах дельти на поверхні і в придонному горизонті, а також взірці донних наносів на глибинах від 0,5 до 3,5 м. Вони вилучалися різними засобами: дночерпателем, ґрунтовою трубкою, донним скрибачем, а завись – переважно батометром-пляшкою. В сумі протягом наших досліджень було відібрано близько 60 взірців завислого матеріалу, кожного разу – на глибині 1 м від поверхні води. На дні дельтових гирлів всього було відібрано 24 взірці донних відкладів: в Кілійському, Очаківському,

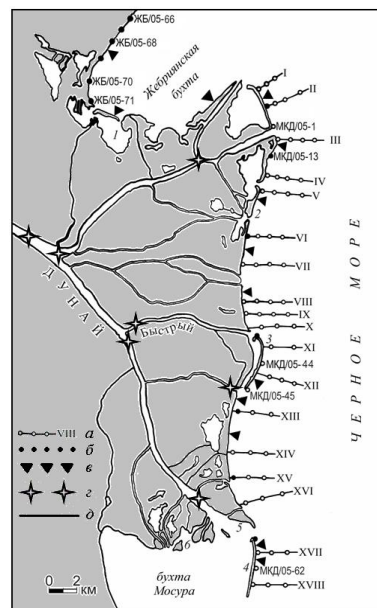


Рис. 2. Карта видів натурних досліджень в основних рукавах і на морському краї Кілійської дельти Дунаю: а - морфометричний профіль і точки відбору проб наносів, римські цифри - номери профілів, ЖБ / 05-68 і МКД / 05-45 - індекси і номери проб; б - проби наносів, схильні до мінералогічного аналізу; в - типові ділянки положення промірних профілів; г - ділянки відбору водної суспензії в руслах дельти на поверхні і в придонному горизонті і відбору проб донних наносів в руслах; д - берегова лінія. Острови: 1 - Белгородський; 2 - Гнеушів; 3 - Пташиний; 4 - Нова Земля; 5 - Циганський; 6 - Курильські [16]

Прорва, Старостамбульському, Бистрому, Восточному. А саме – в період межені і в період повені. Весь отриманий авторський матеріал був доповнений даними інших авторів [2, 3, 4, 8, 12]. Це дозволило автору визначити кілька важливих нових закономірностей, за якими розвивається морська окраїна Кілійської дельти Дунаю.

У лабораторних умовах виконано гранулометричний аналіз взірців і розраховані основні гранулометричні характеристики (фракційний склад; Md , мм, медіана; S_o – коефіцієнт сортування; S_k – коефіцієнт асиметрії; $C_o, \%$ – провідна фракція) за стандартною методикою [4, 15, 16]. Враховувалися також дані топографічних (масштаби 1:50000 та 1:100000) і морських навігаційних (масштаби 1:25000, 1:50000 та 1:200000) карт, картографічний матеріал та дані з різних публікацій.

В якості основних були застосовані методи польових маршрутно-експедиційних і стаціонарних досліджень, починаючи від 2004 року, а також камеральні аналітичні, картографічні, палеогеографічні, літологічні, порівняльно-географічні, гідрометеорологічні методи [2, 4, 6, 7, 12]. Вони дали можливість обґрунтувати розвиток процесів довгострокової еволюції морської окрайки, дельтового берегу та прилеглого схилу дельтового узмор'я в їх єдності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Багаторічні зміни стоку завислих наносів в гирлі Дунаю відрізняються від багаторічних змін стоку води. Якщо в коливаннях стоку води провідна роль належить природному кліматичному фактору, то в змінах стоку наносів переважає вплив антропогенного чинника – відкладення наносів у водосховищах. Зменшення стоку завислих наносів Дунаю почалося ще в 1920-х роках ХХ століття. Але особливо різке скорочення стоку наносів відзначено в 1960-х і 1970-х роках. Найбільш сильний вплив на стік наносів зробило спорудження водосховища Залізни Ворота-I. Так, стік завислих наносів Кілійського рукава 1961 році становив 610 $кг/с$; в 1985 р – 550 $кг/с$; в 1995 – 530 $кг/с$ і в 2003 р – 240 $кг/с$ [4, 13].

Розглядаючи процеси розподілу і перерозподілу стоку завислих наносів по рукавах дельти, вдалося відзначити, що вони більш складні, ніж процеси розподілу стоку води. Це з'ясувалося після випробування суспензій і сальтованих донних наносів в різних дельтових гирлах, характер їх розподілу на морській окрайці [2, 3, 9]. Дані відмінності ми пояснюємо неадекватністю щільності води і мінеральних частинок, їх поведінки в руслі, відмінностями консистенції. Окрім того, ми підтверджуємо хвильову природу диференціації алювіального матеріалу в гідродинамічних умовах дельтового узмор'я.

У монографії [5] було зроблено допущення про те, що в рукавах Кілійської дельти розподіл стоку води і завислих наносів при середніх умовах стоку води в цілому збігається. Цей висновок був підтверджений пізніше, до поточного часу різними авторами (рис. 3). Виявилось, що звичайна закономірність

$R = f(Q)$ має ряд особливостей, якими фіксуються багаторічні зміни значень R в період понад 190 років. Ці зміни односпрямовані і характеризуються загальним зменшенням стоку наносів R в 1.5–2.0 рази. Але, не завжди таке зменшення супроводжується пропорційним зменшенням стоку води Q , бо коефіцієнт кореляції між ними 0,58–0,76.

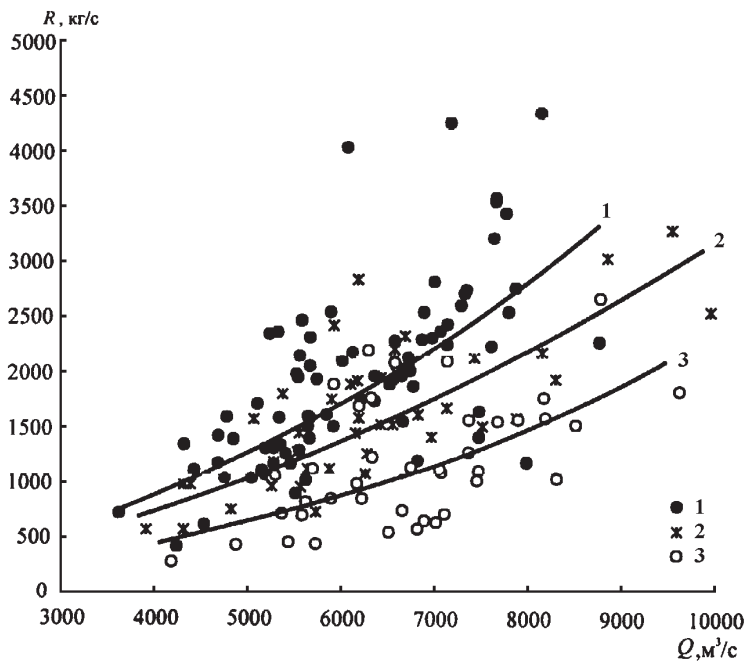


Рис. 3. Графіки зв'язку середніх річних витрат води (Q , м³/с) і завислих наносів (R , кг/с) в вершині дельти Дунаю протягом періодів 1840-1920 рр. (1), 1921-1960 рр. (2), 1961-2002 рр. (3) (за матеріалами [4])

Часто стік води збільшується, а кількість наносів залишається колишнім. Це свідчить, що відбувається невелике збільшення прозорості води, а тому це явище можна вважати однією з причин уповільнення процесів наростання морського краю і поверхні островів дельти Дунаю.

Однак, в той же час було відзначено, що в пасивному рукаві Прорва частка стоку наносів перевищує частку стоку води, що пояснювалося розмивом в штучно поглибленому водотоці. Під час повені зафіксовано деяке непропорційне збільшення частки стоку завислих наносів в порівнянні з часткою стоку води в гирлах Потапівському, Гнеушовому, Анкудінову та Старостамбульському і зменшення в Очаківському, в Прорві, Полуденному і Східному. Це, можливо, було пов'язано з різною тенденцією розвитку цих рукавів – замуленням перших і розмивом других, відповідно до принципу їх річищного подовження. Більш детальні розрахунки [1, 13] дозволили встановити зв'язок між розподі-

лом витрат води і зважених наносів в водотоках Кілійської дельти. Був зроблений висновок про те, що взагалі розподіл стоку завислих наносів приблизно збігається з розподілом стоку води, хоча спостерігаються і деякі тимчасові відхилення від загальних тенденцій, особливо під час змін між собою повенів та межнів. Що стосується оцінки величини стоку сальтованих наносів, то в літературі є багато протиріч і різних оцінок. Огляд відомостей з цього питання до 1960 р. наведено в [5, 6, 10]. Так, в цих монографіях, за точкою зору Ч. Міріке, частка стоку сальтованих наносів становить 0.5–1% стоку завислих. К. Мочорніца і М. Константінеску надають величину 1.2%. За даними ЧорноморНДПроекту ця частка становить 5.6%, а за даними Управління цивільного судноплавства Румунії – навіть 36%. Узагальнивши результати всіх вимірювань нами був зроблений висновок, що в середньому стік сальтованих наносів становить 3–4% стоку завислих наносів, тобто менше, ніж називає більшість авторів і загально-прийнято для рівнинних річок ($\approx 10\%$) [1, 9, 12]. Але ми не виключаємо, що стік сальтованих наносів в дійсності може бути більше, ніж нами визначено. Про величезний стік піщано-алевритових наносів, що досягають морського краю дельти Дунаю і потім беруть участь у вздожбереговому потоці наносів під впливом вітрового хвилювання [3, 15], свідчать досить великі, складені дунайським піском, гирлові бари, пляжі, коси і пересипи, що знаходяться всередині і на морський периферії дельти.

Надходження дунайського матеріалу носить точковий характер. Мається на увазі, що наноси надходять в море з русел, кожна займає ділянку 20–300 м вздовж морського берега дельти, на тлі того, що морський край має довжину 90 км. Загалом, викид завислих наносів в море відноситься в основному до 5 великих гирл: до Очаківського, Прорви, Потапівського, Бистрого, Старостамбульського. На їх частку припадає на кожен від 12.1% до 40.1% стоку завислих наносів Кілійського рукава [3, 8]. Найбільше завислих наносів виноситься з Старостамбульського (40.1%) і Очаківського (37.4%) гирлів. По іншим великим гирлам (Прорва, Потапівське, Бистре) виноситься приблизно однакова кількість – від 12.1% (Прорва) до 19.2% (Потапівський). На частку гирла Бистре доводиться 17.3%. Подальший розподіл цих наносів відбувається в морі, де частково втягується у вздожбереговий потік наносів, а здебільшого виноситься на відкрите море, де витрачається на нарощування підводної частини конуса, згодом поступає на сусідні з дельтою ділянки морського берега, а потім залучається в перенесення круговими дрейфовими течіями Чорного моря і живить шельфове глибоководне дно дунайським осадовим матеріалом [14, 16]. Виконані нами дослідження можуть допомогти в розрахунках тієї кількості дунайського алювія, який витрачається на поповнення шару наносів у відкритому морі.

Так само, як і між розподілом стоку води і наносів, в дельті Дунаю лінійна залежність існує і між розподілом донних рухомих і завислих наносів (рис. 4). Тому, можна стверджувати, що по тим гирлам, в яких виноситься більша кіль-

кість завислих наносів, буде відповідно виноситися і більше ваблених наносів. Графік чітко показує, що витрати ваблених наносів (G) ростуть разом зі збільшенням витрат завислих наносів (R). А їх кількість разом узята ($G + R$) підвищується під впливом зростання витрат води (Q), тобто при збільшенні швидкостей річищних течій V , м/с. Причому, залежність G від Q помітно менше ($r_{GQ} = 0.782$), ніж G від R ($r_{GR} = 0.950$). У верхній частині Кілійської дельти суцільний рух ваблених наносів, найімовірніше, починається тоді, коли Q і V досягають деяких критичних значень: $Q \approx 2000 \text{ м}^3/\text{с}$, а $V \approx 0.35\text{--}0.40 \text{ м/с}$, як підкреслювали ще раніше [5, 11]. Загалом же пересічний стік наносів, що рухаються по дну річищ, в дельті Дунаю оцінюється рівним 1.6 млн т/рік, або 3–4% від стоку завислих наносів. Саме цю інформацію названих авторів ми взяли за основу для розрахунків елементів уздовжберегового потоку наносів та розвитку морської окрайки.

Що стосується гранулометричного складу наносів в період межені і період повені, то між ними виявлені певні відмінності (табл. 1–3). В період межені провідною фракцією були наноси алеврито-пелітові ($\leq 0.1 \text{ мм}$), а під час повені в Кілійському та Очаківському рукавах переважали більш крупні наносифракцій піску 1.0–0.25 мм.

Таблиця 1

**Гранулометричний склад донних відкладень основних рукавів Дунаю
під час межені (23.11.2005 р.)**

№ п/п	Номер проби	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	<0,1
1	К-1 (1)	0,33	-	-	0,24	0,17	0,31	0,27	1,13	15,32	82,31
2	К-1 (2)	0,15	-	-	0,07	0,08	0,17	0,16	0,67	11,0	87,35
3	О-2 (1)	-	-	-	0,04	0,05	0,18	0,08	1,11	5,32	93,07
4	О-2 (2)	-	-	0,03	0,08	0,06	0,11	0,09	0,71	3,86	94,69
5	П-3 (1)	-	-	-	0,04	0,055	0,07	0,065	0,26	1,705	97,885
6	П-3 (2)	-	-	-	-	-	0,13	0,1	0,44	0,71	97,73
7	Б-4 (1)	-	-	-	0,06	0,11	0,10	0,09	0,27	3,39	96,17
8	Б-4 (2)	-	-	-	-	-	0,11	0,11	0,27	2,67	97,20
9	СС-5 (1)	-	-	-	-	-	0,1	0,11	0,35	1,25	97,77
10	СС-5 (2)	-	-	-	-	-	0,07	0,08	0,37	1,44	98,62
11	СС-6 (1)	-	-	-	-	0,07	0,08	0,07	0,24	3,24	96,23
12	СС-6 (2)	-	-	-	-	0,02	0,07	0,12	0,31	4,55	94,96

Таблиця 2

**Основні гранулометричні характеристики донних відкладень рукавів Дунаю
під час межені (23.11.2005 р.)**

№ п/п	Номер проби	Md	S_0	S_k	C_0
1	К-1 (1)	0,06	1,73	0,75	82,31
2	К-1 (2)	0,06	1,73	0,75	87,35
3	О-2 (1)	0,05	2,0	0,64	93,07
4	О-2 (2)	0,05	1,79	0,8	94,69
5	П-3 (1)	0,05	2,0	0,64	97,86
6	П-3 (2)	0,055	1,63	0,79	97,73
7	Б-4 (1)	0,05	1,63	0,96	96,17
8	Б-4 (2)	0,05	2,0	0,64	92,20
9	СС-5 (1)	0,05	1,63	0,96	97,77
10	СС-5 (2)	0,05	1,63	0,96	98,62
11	СС-6 (1)	0,05	2,0	0,64	96,23
12	СС-6 (2)	0,05	1,63	0,96	94,96

Таблиця 3

**Результати механічного аналізу зразків наносів Дунаю, відібраних
під час сильного повені (27.03.2006 р. – 30.03.2006 р.)**

Місце відбору	1–0,25 мм, %	0,25–0,05 мм, %	0,05–0,01 мм, %	0,01–0,005 мм, %	0,005–0,001 мм, %	Менш 0,001 мм, %	Сума фракцій менш 0,01, %
З а в и с л і н а н о с и							
20-й км	-	0,22	19,42	11,48	27,55	41,33	80,36
Бистре гирло	6,12	1,80	10,78	15,18	30,35	35,77	81,30
Очаківське гирло	-	0,15	19,14	14,57	31,39	35,75	80,71
Старостамбульське гирло	1,12	44,73	24,55	7,22	9,38	13,00	29,60
Д о н н і н а н о с и							
20-й км	84,38	0,37	5,00	2,46	0,82	6,97	10,25
54-й км	90,50	0,12	2,85	0,41	0,41	5,71	6,53
Очаківське гирло	92,25	0,20	0,60	0,41	0,81	5,73	6,95
Старостамбульське гирло	1,44	3,03	44,63	10,91	24,41	15,58	50,90
Бистре гирло	0,90	0,56	34,60	13,32	30,20	20,42	63,94

Такі відмінні риси гранулометричного складу можуть бути зумовлені зростанням швидкостей течії в рукавах в період повені майже в три рази в порівнянні з періодом межені (рис. 4). Зростає наносорухлива швидкість річкового потоку, а слідом за цим зростає не тільки кількість, але і розмір часток, як це зазвичай буває і в інших руслах інших річок [4, 9, 16].

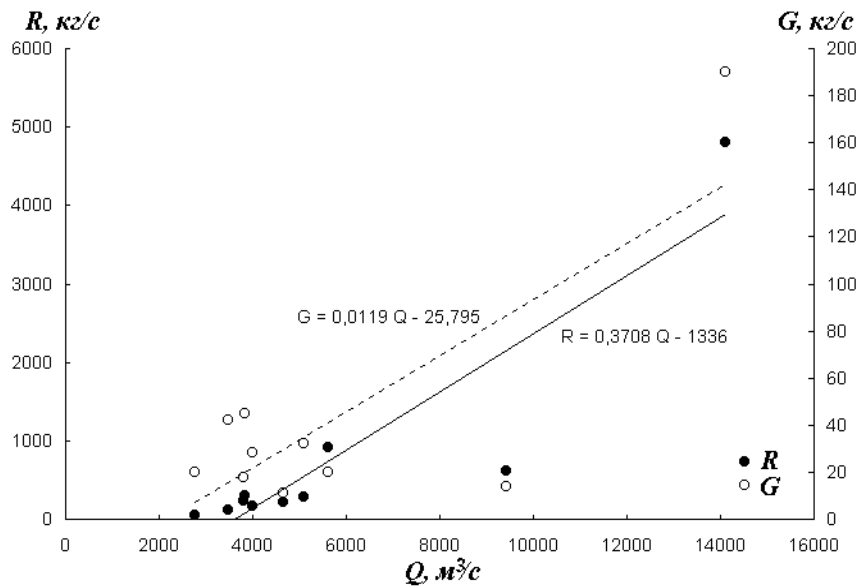


Рис. 4. Графіки залежності середніх витрат важених наносів (R , кг/с) і ваблених наносів (G , кг/с) від середніх річних витрат води (Q , м³/с) в основних руслах Кілійської дельти Дунаю за період 1982-2002 рр.

Як приклад вкажемо, що пересічна швидкість течії в Кілійському рукаві в період повені зростає з $0,52$ м/с до $1,41$ м/с, в Очаківському рукаві з $0,44$ м/с до $0,96$ м/с, в Старостамбульському з $0,45$ м/с до $1,51$ м/с і в рукаві Бистрому з $0,60$ м/с до $1,53$ м/с. Це означає, що розмір частинок наносів, які переміщуються по дну, повинні збільшитися в 2–4 рази. Іншими словами, під час повені, замість дрібно- та крупноалевритових фракцій можуть залучатися до руху середньо- і крупнозернисті піски, що і відбувається в дійсності. Такий висновок підтверджують дані робіт [4, 13]. Зокрема, протягом першого десятиріччя ХХІ сторіччя на виході з Кілійського гирла пересічне значення Md (мм) для завислих наносів на підйомі повені становить $0,120$ ($0,18$ мм для донних наносів); на зниженні повені $0,020$ ($0,13$ мм) та під час межені $0,077$ ($0,15$ мм). Тому робимо висновок, що в період надходження найкрупнішого алювію та зниження дії річкового фактору створюються найбільш сприятливі умови для нарощування морської крайки дельти, коли решта факторів залишається тією ж.

Отже, завдяки збільшенню швидкостей течії більш крупні наноси, пере-

міщалися набагато далі за течією Дунаю досягаючи його пониззя. У період повені темпи наростання дельти у відповідності з усіма закономірностями її розвитку збільшуються, і це пов'язано не тільки зі збільшенням стоку наносів, хоча він і є провідним фактором, але і зі збільшенням крупності наносів, яка відзначена нами вище. Адже на відміну від дрібних наносів, які виносяться далеко в море, більш крупні наноси відкладаються в безпосередній близькості від морського краю дельти, формують сучасні морські «гринду» і тим самим збільшують темпи приросту конуса виносу дельти.

Оскільки високі ($Q > 2000 \text{ м}^3/\text{с}$) і низькі ($Q < 2000 \text{ м}^3/\text{с}$) витрати води в часі розподіляються нерівномірно, відчувають періодичні коливання протягом року і різних груп років, до цієї закономірності схильні і надходження великих сальтованих наносів з річки на морський берег дельти Дунаю. Очевидно, що до такої ритмічності схильний і природний процес формування дельти, зокрема, її прибрежно-морські бари і коси, дельтові озера і, відповідно, – плавні. Але оскільки морська окраїна дельти, включаючи підводний схил із крутим скидом, обробляється вітровими хвилями, то на режим виносу річкових наносів накладається підвищена енергія вітро-хвильового режиму. Ці закономірності залишилися незмінними і зберігаються зараз, після відновлення судноплавства по природному гирлу Бистрий.

Розглядаючи зміну стоку наносів під час наших вимірів, можна відзначити, посилаючись на вище наведену пряму залежність між стоком води і наносів Дунаю, що в період повені він збільшився більше ніж в три рази. Так, наприклад, на відміну від інших авторів, О.І. Черой показав [13]: стік витрат по Кілійському рукаву в районі м. Вилкове під час межені склав з $2550 \text{ м}^3/\text{с}$, а під час повені збільшився до $7320 \text{ м}^3/\text{с}$. Одночасно стік Очаківського рукава збільшився відповідно з $551 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1310 \text{ м}^3/\text{с}$, Старостамбульського – з $930 \text{ м}^3/\text{с}$ до $2910 \text{ м}^3/\text{с}$ і Бистрого – з $867 \text{ м}^3/\text{с}$ до $2420 \text{ м}^3/\text{с}$. Використовуючи зв'язок на представленому графіку (рис 4), робимо висновок, що одночасно зростає не тільки крупність рухомих наносів, але і їх кількість.

Також нами була розрахована пересічна мутність води в основних гирлах Кілійської дельти Дунаю в період повені (табл. 4). Взірцювання проводилося на трьох горизонтах одночасно: в поверхневому шарі {П-3 (1)}, в серединному {П-3 (2)} і придонному {П-3 (3)}.

На основі отриманих даних побудовані епюри мутності в основних рукавах Кілійської дельти (рис. 5). Зміна мутності по вертикалі насамперед пов'язані зі зміною швидкостей течії на різних глибинах.

Як видно з представлених графіків, під час пробовідбору в Кілійському рукаві мутність не змінюється по глибині; в Прорві мутність зменшується ближче до дна; в Очаківському рукаві, навпаки, мутність збільшується від поверхні до дна. В рукаві Бистрий значення мутності дуже значні і зменшуються від поверхні до дна в два рази. У Старостамбульському рукаві, в створі, розташованому нижче рукава Бистрого, мутність води зменшується від поверхні до дна.

Таблиця 4

Пересічна мутність води у основних рукавах Кілійської дельти Дунаю, виміряна в період наших досліджень, г/л

№ п/п	Місце відбору проб	Вага фільтра до фільтрації, гр	Вага фільтра після фільтрації, гр	Мутність, г/л
1	К – 1 (1)	2,12	2,17	0,05
2	К – 1 (3)	2,12	2,17	0,05
3	П – 3 (1)	2,12	2,20	0,08
4	П – 3 (2)	1,87	1,94	0,07
5	П – 3 (3)	2,19	2,21	0,02
6	О – 2 (1)	2,17	2,18	0,01
7	О – 2 (2)	2,16	2,17	0,01
8	О – 2 (3)	2,02	2,04	0,02
9	Б – 4 (1)	1,88	2,06	0,18
10	Б – 4 (2)	2,07	2,17	0,10
11	Б – 4 (3)	2,06	2,12	0,06
12	СС – 5 (1)	2,12	2,15	0,03
13	СС – 5 (2)	2,05	2,06	0,01
14	СС – 5 (3)	2,06	2,11	0,05
15	СС – 6 (1)	1,91	2,04	0,11
16	СС – 6 (3)	2,14	2,14	0,01

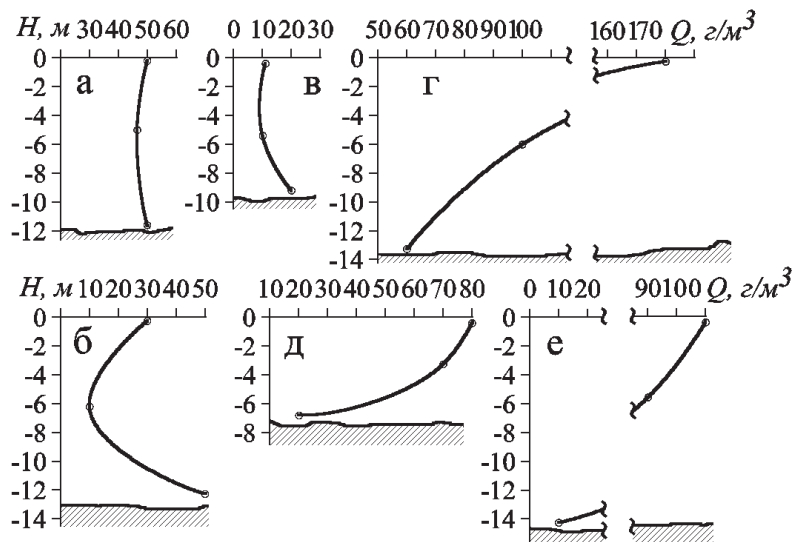


Рис. 5. Етюри вертикального розподілу мутності в руслах основних рукавів Кілійської дельти Дунаю: а) Кілійський рукав; б) Прорва; в) Очаківський; г) Бистрий; д) Старостамбульський (5 км, нижче рукава Бистрого); е) Старостамбульський (гирло)

У створі нижче рукава Лімба вона збільшується від поверхні до середнього горизонту, а у дна – зменшується.

Як бачимо, картина розподілу мутності по глибині дуже різноманітна. Це явище також може бути пов'язано з розміром наносів, тобто при переважанні дрібних наносів мутність найбільша в поверхневому горизонті, так як дрібні наноси легко піднімаються і повільно осідають. При домінуванні великих наносів найбільша мутність, навпаки, характерна для придонного горизонту.

Такий висновок підтверджено також і експериментальними дослідженнями, які вивчали вплив суспензії на стан живих організмів [15]. Отже, виходячи з епюр мутності, можливо зробити вже не раз повторюючий висновок: в рукавах Кілійської дельти переважають дрібнозернисті наноси (≤ 0.1 мм). Та навіть під впливом сильних повенів, які тримаються довго і роблять воду практично непрозорою, нами не спостерігалися ситуації із масовим знищенням рослин і тварин. Зате такі ситуації сприяють суттєвому синоптичному підвищенню рівня моря, затопленню плавнів, вторгненню дуже мутної води в плавні та в дельтові озера, а відтак протягом таких повенів відбувається сильне замулення дельти і її нарощування у висоту. Згодом поверхня дельти закріплюється рослинністю, а тотальної загибелі штахів, черв'яків, павуків, жаб тощо не простежується.

Що стосується числових значень каламутності, то для періоду межені, вони досить великі в деяких гирлах, наприклад, в гирлі Бистрому мутність досягає 100–180 г/м³, в Старостамбульському рукаві 110 г/м³, тоді, як мінімальні значення каламутності складають 1–14 г/м³ [4]. Інформація про літодинаміку морського краю дельти буде застосована при розробці процесів літодинамічної диференціації наносів.

ВИСНОВКИ

Фактичний матеріал, отриманий в ході регулярних стаціонарних і маршрут-но-експедиційних досліджень і оброблений в камеральних умовах було систематизовано, проаналізовано і інтерпретовано. Він диктує наступні висновки:

1) узагальнивши результати всіх вимірювань нами був зроблений висновок, що в середньому стік сальтованих наносів становить 3–4% стоку завислих наносів, тобто менше, ніж називає більшість авторів і загально-прийнято для рівнинних річок ($\approx 10\%$) [1, 9, 12]. Але ми не виключаємо, що стік сальтованих наносів в дійсності може бути більше, ніж нами визначено.

2) донні відкладення в основних рукави Кілійської дельти Дунаю в більшості представлені середньо-зернистими і дрібнозернистими пісками, а також цими ж пісками, але замуленими;

3) медіанний діаметр Md , донних відкладень становить 0.05–0.06 мм. Найбільші величини медіанного діаметра характерні для проб відібраних в Кілійському рукаві, після його дроблення на другорядні рукава медіанний діаметр в них зменшується;

4) в донних відкладеннях переважає фракція > 0.1 мм, причому відзначається зростання вмісту провідною фракції в південному напрямку. У період повені переважають наноси фракції 1.0–0.25 мм;

5) найбільша каламутність води встановлена в тих рукавах, на які припадає більша частина стоку, там вона досягає значень більше 100 г/м^3 в період межені, а в менших рукавах значення каламутності складають $< 10\text{--}50 \text{ г/м}^3$. Розподіл каламутності з глибиною пов'язано з вертикальною зміною швидкостей течій і значущістю наносів;

6) отримані дані можуть бути застосовані для обґрунтування раціонального природокористування в Кілійській дельті Дунаю, розробки заходів з охорони природи і збереження елементів дикої природи, в тому числі і в Дунайському біосферному заповіднику;

7) натурні спостереження показали, що облаштування водного шляху і відновлення судноплавства по гирлу Бистре не вплинуло негативно на динаміку витрат, розподілу річкових наносів і на механізми формування ландшафтів як в даному гирлі, так і в Кілійській дельті в цілому, тобто на ті елементи ландшафту, якими визначається стан і біологічне різноманіття рослин і тварин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеевский Н. И. Транспорт влекомых наносов при развитой структуре руслового рельефа [Текст] / Н. И. Алексеевский. // Метеорол. и гидрология. – 1990. – № 9. – С. 100–105.
2. Выхованец Г. В. Основные закономерности развития потоков наносов вдоль морского края Килийской дельты Дуная [Текст] / Г. В. Выхованец, А. П. Черой, Л. В. Орган. // Причорноморський Екологічний бюллетень. – 2006. – № 3. – С. 102–112
3. Выхованец Г. В. Основные закономерности распределения наносов на устьевом взморье Килийской дельты Дуная [Текст] / Г. В. Выхованец, С. В. Кадурын, Л. В. Лихоша. // Людина і довкілля: проблеми неоекології. – 2005. – № 7. – С. 26–44
4. Гидрология дельты Дуная [Текст] / Под ред. В.М. Михайлова. – Москва: ГЕОС, 2004. – 448 с.
5. Гидрология устьевого области Дуная [Текст] / Под ред. Я.Д. Никифорова и К. Дьякону. – М: Гидрометеиздат, 1963. – 383 с.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР [Текст] / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. – Черное море. – Том IV. – Вып. 1 (Гидрометеорологические условия). – СПб: Гидрометеиздат, 1991. – 429 с.
7. Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря [Текст] / В. П. Зенкович. – Том. II. – Москва: Изд. АН СССР, 1960. – 216 с.
8. Левашова Е.А. Естественные и антропогенные изменения стока воды и наносов в устье Дуная [Текст] / Е.А. Левашова, В.Н. Михайлов, М.В. Михайлова, В.Н. Морозов // Водные ресурсы. – 2004. – Том 31. – № 3. – С. 261–272.
9. Михайлов В.Н. Речные дельты: гидролого-морфологические процессы [Текст] / В. Н. Михайлов, М.М. Рогов, А.А. Чистяков. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 280 с.
10. Михайлов В. Н. Гидрология устьев рек [Текст] / В. Н. Михайлов. – М: МГУ, 1998. – 176 с.
11. Петреску И.Г. Дельта Дуная: происхождение и развитие [Текст] / И.Г. Петреску. – Москва: ИЛ, 1963. – 279 с.
12. Федорончук Н. А. Дельта Дунаю: сучасні літодинамічні процеси / Н. А. Федорончук, І. О. Сучков // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. – 2014. – Т. 19, Вип. 1. – С. 179–186.

13. Черой А.И. Сток воды, наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай [Текст]: автореф. дис. кандидата географических наук: 11.00.07 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» / Черой Александр Иванович. – Одесса: Одесский государственный экологический университет, 2009. – 17 с.
14. Шуйский Ю.Д. Действие основных морских и речных факторов на морском крае Килийской дельты Дуная [Текст] / Ю.Д. Шуйский // Людина і довкілля: проблеми неоекології (Харків). – 2005. – Вип. 7. – С. 26–44.
15. Шуйский Ю.Д. Проблемы исследований баланса наносов в береговой зоне морей [Текст] / Ю.Д. Шуйский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 240 с. Шуйский Ю.Д.,
16. Шуйский Ю.Д. Практикум по береговедению [Текст]: 2-е издание, переработанное и дополненное / Ю.Д. Шуйский, Г.В. Выхованец, А.Б. Муркалов, Л.В. Гыжко. – Одесса: Бахва, 2015. – 104 с.

REFERENCES

1. Alekseyevskiy N. I. (1990), Transport vlekomykh nanosov pri razvitoy strukture ruslovogo rel'yefa [Transport of sediment load with a developed structure of the channel relief], *Russian Meteorology and Hydrology*, No. 9, pp. 100–105
2. Vykhovanets G.V., Kadurin S.V., Likhosha L.V. (2005), Osnovnyye zakonomernosti raspredeleniya nanosov na ust'yevom vzmor'ye Kiliyskoy del'ty Dunaya [The main laws of sediment distribution at the estuary coast of the Kiliysky Danube Delta], *Man and the environment: problems of neoecology*, Vol. 7, pp. 26–44.
3. Vykhovanets G.V., Cheroy A.P., Organ L.V. (2006), Osnovnyye zakonomernosti razvitiya potokov nanosov vdol' morskogo kraya Kiliyskoy del'ty Dunaya [The main laws of the development of sediment flows along the sea edge of the Kiliysky Danube Delta], *Black Sea Ecological Bulletin*, No. 3–4, pp. 26–44.
4. *Gidrologiya del'ty Dunaya* [Hydrology of the Danube Delta], Pod red. V.M. Mikhailova. Moscow: GEOS, 2004, 448 p.
5. *Gidrologiya ust'yevoy oblasti Dunaya* [Hydrology of the delta of the Danube], Pod red. YA.D. Nikiforova i K. D'yakonov. M: Gidrometeoizdat, 1963, 383 p.
6. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR], Otv. ed. F.S. Terziev. Black Sea, Volume IV. – Vol. 1 (Hydrometeorological conditions), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991, 429 p.
7. Zenkovich V.P. (1960), Morfologiya i dinamika sovetskikh beregov Chernogo morya [Morphology and dynamics of the Soviet coast of the Black Sea], Tom. II, Moskva, Izd. AN SSSR, 216 p.
8. Levashova Ye.A., Mikhaylov V.N., Mikhaylova M.V., Morozov V.N. (2004), Yestestvennyye i antropogennyye izmeneniya stoka vody i nanosov v ust'ye Dunaya [Natural and anthropogenic changes in water and sediment runoff at the mouth of the Danube], *Water Resources*, Vol. 31, No. 3, pp. 261–272.
9. Mikhaylov V.N., Rogov M.M., Chistyakov A.A. (1986), Rechnyye del'ty: gidrologo-morfologicheskiye protsessy [River deltas: hydrological and morphological processes]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 280 p.
10. Mikhaylov V. N. (1998) *Gidrologiya ust'yev rek*, Moscow: MGU, 176 p.
11. Petresku I.G. (1963), Del'ta Dunaya: proiskhozhdeniye i razvitiye [Danube Delta: origin and development.], Moskva, IL, 279 p.
12. Fedoronchuk N. A., Suchkov I. O. (2014) Del'ta Dunaju: suchasni litodinamichni procesi [Danube Delta modern lithodynamic processes], *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, vol. 19 (1), pp. 179–186.
13. Cheroy A.I. (2009). Runoff of water, sediment, and morphological processes in the estuary of the Danube River. Extended abstract of candidate's thesis. Odessa: Odessa State Environmental University [in Ukrainian].

14. *Shuisky Yu. D.* (1986). Problemy issledovaniy balansa nanosov v beregovoy zone morey [Problems of studies of sediment balance in the coastal zone of the seas]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 240 p.
15. *Shuisky Yu. D.* (2005), Deystviye osnovnykh morskikh i rechnykh faktorov na morskoy kraye Kiliyskoy del'ty Dunaya [The action of the main marine and river factors on the marine edge of the Kiliya Danube Delta], *Man and the environm.: problems of neocology*, Vip. 7, pp. 26–44.
16. *Shuisky Yu. D. et al.* (2015). Praktikum by Coastal Sciences: 2-nd Edition [Text] // Yu.D. Shuisky, G.V.Vykhovanetz, A.B.Murkalov, L.V.Gyzhko. – Odessa: Bakhva Publ. Co. 104 p.

Надійшла 17.05.2020

Л. В. Орган, преподаватель
кафедра физической географии и
природопользования,
Одесский национальный университет
имени И. И. Мечникова, ул. Дворянская 2,
Одесса-82, 65082, Украина
delta_fox@ukr.net

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОСОВ В ОСНОВНЫХ РУКАВАХ КИЛИЙСКОЙ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ

Резюме

В статье выявлены ведущие закономерности поступления аллювиального материала на взморье Килийской дельты Дуная и их распределения. Поступление контролируется стоком воды и их мутностью, а распределение – преимущественно волновым режимом и волновыми течениями. В прошлом десятилетии на морскую окраину в зону волновой переработки поступает в среднем 250–350 кг/сек наносов из основных устьев дельты. Около 3–5% являются крупными донными, которые используются на первичные формы берегового рельефа, которые наращивают фронтальную сторону дельты. Подтверждены выводы других авторов, при межени на взморье выбрасывается 100–200 г/м³ наносов в крупных руслах, а в малых 10–50 г/м³. При половодье значительное количество взвеси транспортируется за пределы подводного склона речными течениями. Но большая часть влекомых наносов ($\geq 0,05$ мм) остается у берегов и расходуется на наращивание морской окраины.

Ключевые слова: Дунай, рукав, наносы, гранулометрический состав, дельта, мутность, скорость.

L. V. Organ

Odessa I. I. Mechnikov National University,
Department of Physical Geography and Nature Management,
Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine
delta_fox@ukr.net

**BASIC PATTERNS OF SEDIMENT DISTRIBUTION OVER THE
LARGE ARMS OF THE KILIYA DANUBE DELTA****Abstract**

Problem Statement and Purpose. Sediment flow is one of the main factors that determines the formation of a delta at the mouth of the Danube River. The distribution of sediment runoff affects the scale and rate of increase of the delta, the formation of the channel network and wellhead bars, sea edge and other processes. All of them taken together lead to the formation of a delta alluvial cone, with a certain sediment composition, their density, water cut, solutions, frequency of flooding during floodwaters and the effects of surge phenomena. Modern nature management requires a detailed and diverse material to justify the positive use of the delta's natural resources.

The purpose of the work is to identify the main patterns of sediment distribution along the main branches of the Kiliya Danube Delta.

Data & Methods. The article is based on materials from processed samples of suspended sediment and bottom sediments. Samples were taken in the main branches of the Kiliysky Danube Delta, as well as synchronously measured water flows. The sampling period took place in 2005, 2006, in delta channels on the surface and in the bottom horizon, as well as samples of bottom sediments. The main methods used were field route-expeditionary and stationary studies, as well as cameral analytical, cartographic, paleogeographic, lithological, comparative geographical, hydrometeorological methods

Results. Summarizing the results of all measurements, we concluded that, on average, stock sediment runoff is 3–4% of suspended sediment runoff, i.e. less than what most authors call and is generally accepted for lowland rivers ($\approx 10\%$). But we do not exclude that the flow of sediment load can actually be greater than we determined.

Bottom sediments in the main branches of the Kiliya Danube Delta are mainly represented by medium and fine sand, as well as medium and small sand silted. A fraction > 0.1 mm prevails in the bottom sediments, and an increase in the content of the leading fraction in the south is noted. During the flood period, sediments of a fraction of 1.0–0.25 mm prevail.

The greatest turbidity of the water was found in those branches, which account for most of the runoff. The distribution of turbidity with depth is associated with a vertical change in current velocities and sediment size. The largest values of the median diameter are characteristic of samples taken in the Kiliysk arm, after its crushing into secondary arms, the median diameter in them decreases.

Keywords: Danube, arm of a river, sediment, granulometric composition, delta, mud-diness speeds.