

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.54:551.468(282.243.7)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУКАВОВ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ В ЗОНЕ ПОДПОРА¹

© 2020 г. М. В. Михайлова^a, *, М. В. Исупова^a, **, В. Н. Морозов^b, ***

^aИнститут водных проблем РАН,
Москва, 119333 Россия

^bДунайская гидрометеорологическая обсерватория,
Измаил, 68609 Украина

*e-mail: mv.mikhailova@gmail.com

**e-mail: misupova@yandex.ru

***e-mail: morozov@dhmo.org.ua

Поступила в редакцию 20.11.2019 г.

После доработки 10.12.2019 г.

Принята к публикации 24.12.2019 г.

На примере Килийской русловой системы в крупной неприливной дельте Дуная проанализированы особенности связей между разными гидролого-морфометрическими характеристиками русел рукавов в зоне подпора. На эту зону оказывает стабилизирующее влияние мало изменяющийся средний уровень Черного моря. Рассмотрены критерии для определения границ этой зоны.

Ключевые слова: река, море, неприливная дельта, зона подпора, устье Дуная.

DOI: 10.31857/S0321059620030128

Крупные неприливно-дельтовые обладают важной особенностью: в них есть зона подпора, где все гидролого-морфометрические характеристики русел рукавов находятся под стабилизирующим влиянием относительно неизменного среднего уровня моря. В устьях таких рек формируются (не только в межень, но и при расходах воды реки, превышающих среднесреднеголетние величины) вогнутые кривые водной поверхности — гидравлического подпора. Такие процессы отмечены в крупных дельтах сибирских рек [4] и в некоторых зарубежных дельтах. Причины этих процессов не были изучены из-за недостатка данных, небольшого количества гидрологических постов и гидрометрических створов в области подпора. Однако эти процессы представляют не только научный интерес, но и имеют важное практическое значение, например, при проектировании водозаборов и улучшении судоходных условий в дельтах рек.

Задачи статьи следующие:

1) выявить особенности гидролого-морфометрических характеристик русел рукавов Килийской системы неприливной дельты Дуная; при этом особое внимание уделить этим особенностям

в зоне подпора, где сказывается стабилизирующее влияние уровня моря;

2) установить эмпирические связи между разными гидролого-морфометрическими характеристиками русел рукавов, в частности между главным внешним фактором — расходом воды рукава и другими характеристиками, и количественно оценить тесноту таких связей;

3) установить приблизительную верхнюю границу зоны подпора в разные фазы водного стока реки.

При решении поставленных задач использованы результаты многочисленных измерений на большом числе гидрометрических створов (створ) и гидрологических постов (пост), проведенных в последнее время Дунайской гидрометеорологической обсерваторией (ДГМО) [1], а также результаты обобщения этих данных в монографии [1], написанной при участии всех авторов статьи. Кроме того, учтены сведения о дельте Дуная в [2–4]. Влияние эвстатического изменения уровня моря на режим дельт в статье не рассматривалось; этот вопрос специально рассмотрен в [5].

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема № 0147-2019-0001, № государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0).

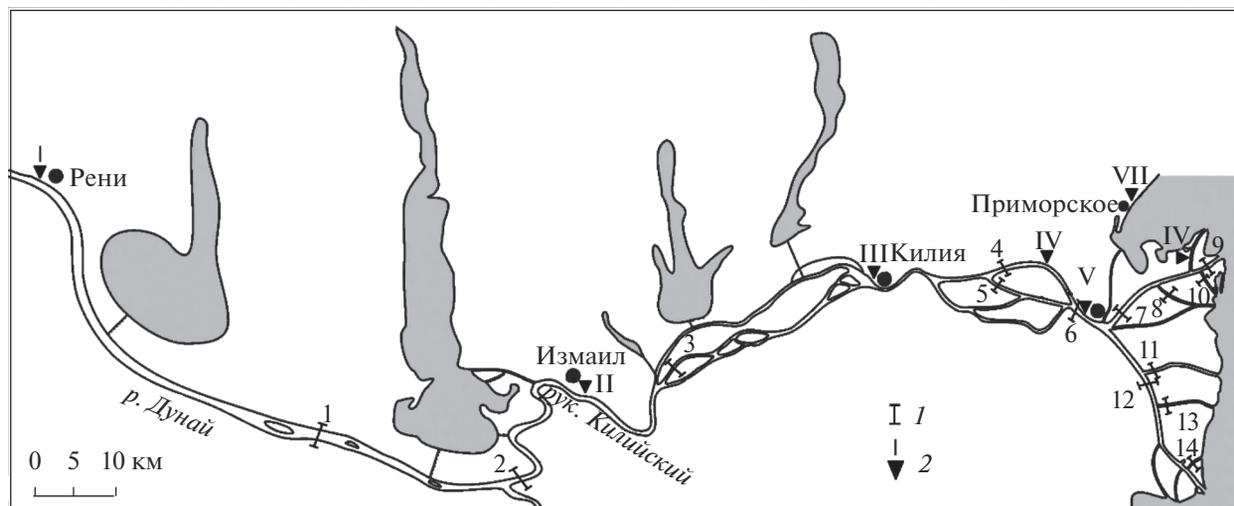


Рис. 1. Картограмма придельтового участка и Килийской русловой системы в устьевой области Дуная. 1 – створы (номера 1–14 соответствуют указанным в табл. 1), 2 – пост (номера I–VII соответствуют указанным в табл. 2).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

Исследование проведено на примере части устьевой области Дуная, включающей в себя придельтовый участок реки и многорукавную систему крупного Килийского рукава, выходящего на приглубое взморье в северо-западном районе неприливногo Черного моря (рис. 1). Придельтовый участок начинается ниже впадения левого притока Прут (в 3 км выше г. Рени); до этого места в низкую межень могут распространяться сильные нагоны. В системе Килийского рукава выделяют три разветвления: первое – ниже г. Измаил (первая внутренняя дельта), второе – ниже

г. Килия (вторая внутренняя дельта), многорукавное разветвление ниже г. Вилково (так называемая морская Килийская дельта).

Рассматриваемая часть устьевой области Дуная хорошо обеспечена данными наблюдений ДГМО [1, 2]. В настоящее время ДГМО проводит регулярные измерения на 14 створах и семи постах. Списки створов и постов, материалы по которым использованы в статье, приведены в табл. 1 и 2.

Разделение понятий “гидрологический пост” и “гидрометрический створ” применительно к крупным дельтам требует пояснений. Эти понятия для обычных рек, как правило, идентичны.

Таблица 1. Список створов, данные по которым используются в статье

№ створа	Река, рукав	Местоположение
1	Дунай, 54 миля	136.4 км от моря, 20.4 км выше вершины всей дельты Дуная
2	Килийский	115.2 км от моря, 0.8 км ниже вершины всей дельты
3	Килийский	70.0 км от моря, 46.0 км ниже вершины всей дельты
4	Соломонов	32.0 км от моря, 10.0 км от конца рукава
5	Прямой	30.0 км от моря, 8.0 км от конца рукава
6	Килийский	20.0 км от моря, 2.5 км выше вершины Килийской дельты
7	Очаковский	15.5 км от моря, 2.0 км ниже вершины Килийской дельты
8	Полуденный	6.0 км от моря, 1.5 км от начала этого рукава
9	Потаповский	3.4 км от моря, 0.8 км от начала этого рукава
10	Гнеушев	3.0 км от моря, 1.0 км от начала этого рукава
11	Быстрый	9.5 км от моря, 0.7 км от начала этого рукава
12	Старостамбульский	15.0 км от моря, 1.0 км ниже начала рук. Быстрого
13	Восточный	7.0 км от моря, 0.9 км от начала этого рукава
14	Цыганский	2.0 км от моря, 0.5 км от начала этого рукава

Таблица 2. Список постов, данные по которым используются в статье

№ поста	Название	Река, рукав	Местоположение	“0” поста, м БС
I	Рени	Дунай	7.4 км ниже устья р. Прут, 163.3 км от моря, 47.3 км выше вершины всей дельты Дуная	0.36
II	Измаил	Килийский	93.3 км от моря, 22.7 км ниже вершины всей дельты Дуная	-0.18
III	Киля	Килийский	47.0 км от моря, 29.5 км выше вершины Килийской дельты	-0.33
IV	Лиски	Соломонов	28.0 км от моря, 10.5 км выше вершины Килийской дельты	-0.43
V	Вилково	Килийский	18.0 км от моря, 0.5 км выше вершины Килийской дельты	-0.75
VI	Прорва	Прорва	3.6 км от моря	-0.63
VII	Приморское		Жебриянская бухта, устьевое взморье Дуная	-5.00

Посты в большинстве одновременно и уровенные, и стоковые. Пост обычно имеет в своем составе гидрометрический створ. Но в крупных дельтах дело обстоит иначе. Дельты, подверженные одновременно влиянию реки и моря, имеют особый гидрологический режим и сложную гидрографическую сеть. Поэтому методика исследования дельт отличается от принятой для обычных рек. Согласно руководствам по гидрологии устьев рек, полевые исследования делят на стационарные и экспедиционные. Первые проводят на гидрологических постах, обычно находящихся в населенных пунктах или портах. Наблюдения на постах (за уровнем и температурой воды, ледовыми явлениями) проводятся постоянно и в фиксированные сроки. Гидрологических постов в устьях рек, как правило, немного. Помимо режимных устройств, посты очень редко имеют в своем составе гидрометрические створы. К экспедиционным исследованиям относятся прежде всего периодические измерения расходов воды и наносов на створах. Их разбивают, ориентируясь на структуру русловой сети дельты. Число створов в многорукавных дельтах может достигать нескольких десятков.

В комплекс измеренных гидролого-морфометрических характеристик в дельтах входят: расход воды на створе Q , м³/с; средняя и максимальная скорость течения V_m и V_{max} , м/с; средняя и максимальная глубина русла h_m и h_{max} , м; ширина русла B , м; уровень на ближайшем посту H , см на “0” поста; расход взвешенных наносов R , кг/с; средняя мутность s_m , г/м³, или кг/м³.

В качестве примера в табл. 3 приведены гидролого-морфометрические характеристики на створе Килийский рук. (20 км) в 2002, 2003 и 2004 гг.

Основной метод расчета, используемый в статье, — определение зависимостей между разными гидролого-морфометрическими характеристика-

ми и расходом воды на данном створе. Результаты расчетов представлены в двух вариантах:

линейном

$$y = ax + b \quad (1)$$

и степенном

$$y = kx^n, \quad (2)$$

x — Q в рукаве, y — другие характеристики.

На рис. 2 в качестве примера приведены степенные зависимости от расхода воды Q других гидрологических характеристик на створе 6 Килийский рук. (20 км), построенные по измерениям в 2002, 2003 и 2004 гг.

Кроме того, рассчитаны линейные зависимости:

$$V_m = k_1 V_{max} + k_2, \quad (3)$$

$$h_m = k_3 h_{max} + k_4. \quad (4)$$

Все расчеты сопровождались оценкой степени тесноты связей и вычислением коэффициента детерминации R^2 .

ОСОБЕННОСТИ ЗОНЫ ПОДПОРА В НЕПРИЛИВНОЙ ДЕЛЬТЕ

Расчеты зависимостей между сезонными изменениями Q на разных створах и изменениями других характеристик выявили, что линейные связи вида (1) и степенные вида (2) оказались близкими. Кроме того, оказались схожими оценки тесноты этих связей (величины R^2). Это дало основание привести в итоговой табл. 4 более простые и компактные степенные зависимости.

Анализ данных табл. 4 показал следующее.

1. В нижней и средней частях Килийского рук. (т.е. в зоне подпора), находящихся под стабилизирующим влиянием мало изменяющегося в течение года среднего уровня моря, средняя и мак-

Таблица 3. Данные измерений гидролого-морфометрических характеристик на створе Килийский рук., 20 км

Дата	Q , м ³ /с	V_m , м/с	V_{max} , м/с	h_m , м	h_{max} , м	B , м	R , кг/с	s_m , г/м ³
17.04.2002	3400	0.7	0.87	0.7	0.87	605	89	26
16.06.2002	2990	0.61	0.78	0.61	0.78	592	80	27
22.05.2003	2840	0.59	0.73	0.59	0.73	602	21	7.4
27.06.2003	1930	0.42	0.52	0.42	0.52	595	21	11
22.07.2003	1600	0.35	0.42	0.35	0.42	591	13	8.1
05.09.2003	1200	0.27	0.37	0.27	0.37	573	9.6	8
05.11.2003	2630	0.55	0.7	0.55	0.7	590	133	51
18.03.2004	3650	0.74	0.99	0.74	0.99	580	150	41
08.04.2004	4610	0.96	1.28	0.96	1.28	550	370	80
25.04.2004	5670	1.09	1.46	1.09	1.46	620	1000	180
24.05.2004	4240	0.9	1.19	0.9	1.19	606	160	38
24.06.2004	3830	0.78	1.28	0.78	1.28	615	100	26
18.07.2004	3040	0.66	0.96	0.66	0.96	600	92	30
25.08.2004	2310	0.45	0.54	0.45	0.54	565	24	12
14.09.2004	2250	0.45	0.65	0.45	0.65	585	21	9.3
17.10.2004	2240	0.47	0.63	0.47	0.63	600	13	5.8
14.11.2004	2700	0.57	0.72	0.57	0.72	596	58	21

симальная глубина на створах, ширина (т.е. характеристики, зависящие от уровня воды), также меняются по сезонам очень мало. Эти изменения тем меньше, чем ближе створ к морскому краю дельты.

2. В результате все сезонные изменения расхода воды рукава в зоне подпора проявляются главным образом в изменениях скорости течения. Это легко обосновать, используя формулу $Q = V_m B h_m$. Из нее можно получить формулу $V_m = Q / B h_m$. Изменения знаменателя в этой формуле малы, и поэтому V_m определяется в основном изменением Q .

3. Для всех рек важен расчет ежедневных расходов воды по кривой расходов $Q = f(H)$. Для Килийского рук. такие кривые не получаются из-за отсутствия тесных связей между Q и H именно по причине стабилизирующего влияния уровня моря. Поэтому измеренные расходы воды на створах этого рукава ДГМО связывает не с уровнем H на ближайшем посту, а с H на посту Рени с учетом времени добега.

4. На створе Дунай (54 миля), находящемся далеко от моря, на основе многочисленных измерений в 1921–2002 гг. [1] получена обычная для рек кривая $Q = f(H)$:

$$Q = 9 \times 10^{-6} H^3 + 0.0087 H^2 + 14.592 H + 2335 \quad (5)$$

и обратная ей (более обоснованная генетически) $H = \varphi(Q)$:

$$H = 6.9 \times 10^{-11} Q^3 - 3.2 \times 10^{-6} Q^2 + 0.0819 Q - 175, \quad (6)$$

Q – расход на створе Дунай, 54 миля; H – средне-суточный уровень воды над “0” поста Рени в день измерения Q . Эти кривые используются ДГМО и в настоящее время. По данным измерений, за упомянутый период максимальные значения Q и H составили 15900 м³/с и 528 см над “0” поста, а минимальные – 2280 м³/с и –10 см; таким образом, размах для Q составил 13620 м³/с, а для H – 538 см.

5. Зависимости между V_m и V_{max} (формула (3)) и между h_m и h_{max} (формула (4)) для всех створов показали, что коэффициенты в этих формулах в среднем составляют $k_1 = 0.7374$ (диапазон по разным створам – от 0.6814 до 0.8641) и $k_3 = 0.4564$ (диапазон от 0.0899 до 0.9972). Эти соотношения позволяют обосновать экспресс-метод приближенного измерения расходов в неприливных дельтах с большой многорукавностью. Метод измерений таков: V_{max} определяется на стрежне потока, h_{max} – с помощью эхолота, ширина русла B – дальномером, нивелиром или теодолитом. Расход воды рассчитывается по формуле

$$Q = k_1 V_{max} k_3 h_{max} B, \quad (7)$$

где k_1 и k_3 в первом приближении можно взять такими же, как для Килийской русловой системы.

6. Интересны результаты исследования связи между расходами воды в водотоках устьевой области Дуная и характеристиками стока взвешенных

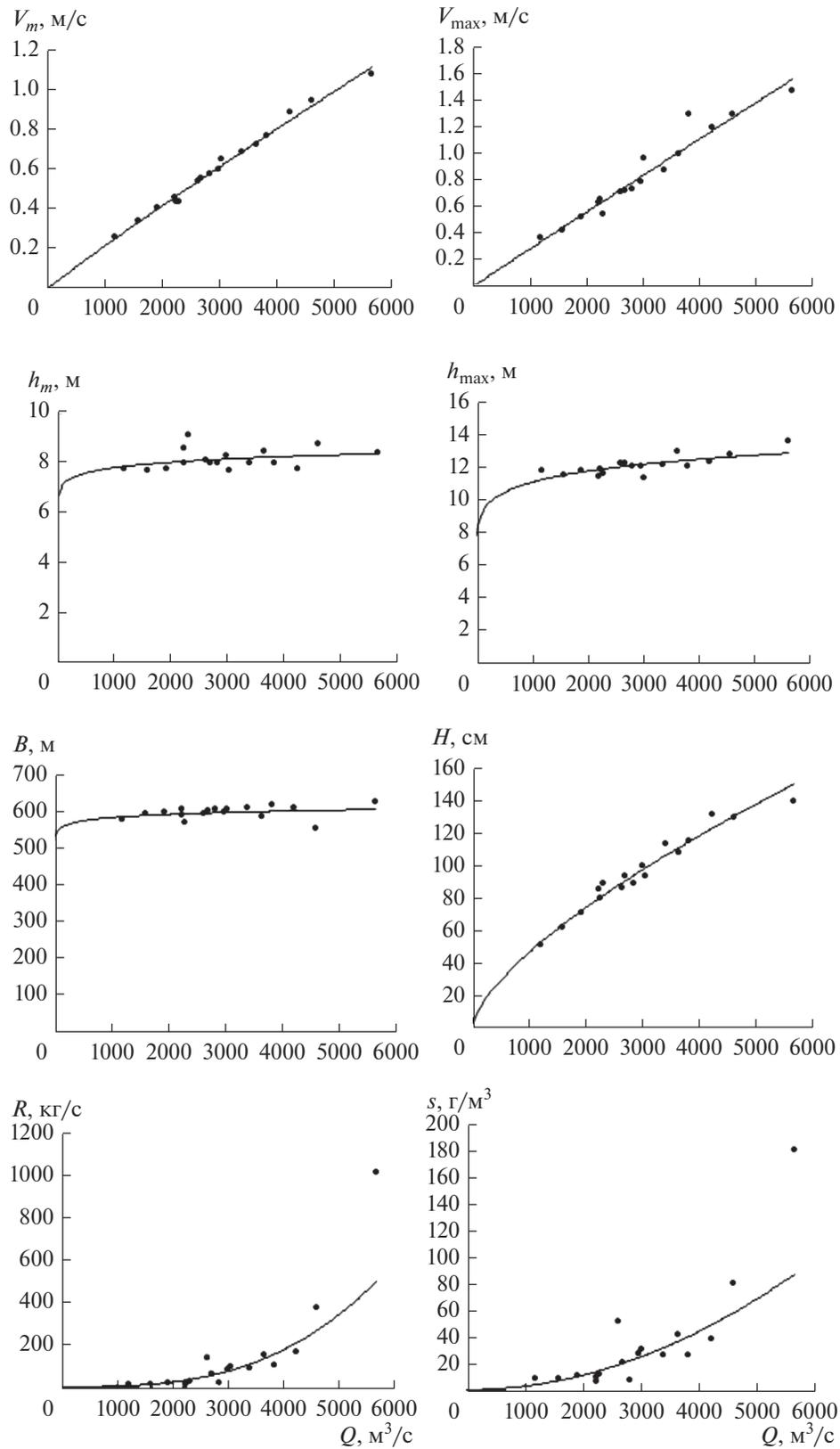


Рис. 2. Степенные зависимости между разными гидрологическими характеристиками и расходами воды на створе Кильевский рук., 20 км.

Таблица 4. Степенные связи между гидролого-морфометрическими характеристиками и расходом воды Q , м³/с, на разных створах в 2002, 2003 и 2004 гг. (прочерк – отсутствие данных)

№ створа	V_m , м/с	V_{\max} , м/с	h_m , м	h_{\max} , м	B , м	H , см
1	$V_m = 0.0013Q^{0.722}$ $R^2 = 0.994$	$V_{\max} = 0.0021Q^{0.703}$ $R^2 = 0.877$	$h_m = 1.5031Q^{0.226}$ $R^2 = 0.932$	$h_{\max} = 3.2361Q^{0.197}$ $R^2 = 0.636$	$B = 493.1Q^{0.054}$ $R^2 = 0.816$	$H = 0.0001Q^{1.640}$ $R^2 = 0.907$
2	$V_m = 0.0033Q^{0.667}$ $R^2 = 0.975$	$V_{\max} = 0.0029Q^{0.715}$ $R^2 = 0.980$	$h_m = 0.8789Q^{0.284}$ $R^2 = 0.863$	$h_{\max} = 4.3509Q^{0.169}$ $R^2 = 0.639$	$B = 333.2Q^{0.052}$ $R^2 = 0.461$	$H = 0.0001Q^{1.768}$ $R^2 = 0.905$
3	$V_m = 0.0024Q^{0.765}$ $R^2 = 0.975$	$V_{\max} = 0.0027Q^{0.784}$ $R^2 = 0.990$	$h_m = 2.3744Q^{0.151}$ $R^2 = 0.795$	$h_{\max} = 6.9896Q^{0.076}$ $R^2 = 0.419$	$B = 210.03Q^{0.062}$ $R^2 = 0.365$	$H = 0.0001Q^{1.831}$ $R^2 = 0.901$
4	$V_m = 0.0016Q^{0.848}$ $R^2 = 0.990$	$V_{\max} = 0.0017Q^{0.874}$ $R^2 = 0.968$	$h_m = 3.8294Q^{0.079}$ $R^2 = 0.197$	$h_{\max} = 4.3091Q^{0.117}$ $R^2 = 0.585$	$B = 164.1Q^{0.070}$ $R^2 = 0.171$	$H = 0.0178Q^{1.196}$ $R^2 = 0.850$
5	$V_m = 0.0019Q^{0.848}$ $R^2 = 0.991$	$V_{\max} = 0.0018Q^{0.894}$ $R^2 = 0.981$	$h_m = 2.8669Q^{0.121}$ $R^2 = 0.874$	$h_{\max} = 3.0015Q^{0.171}$ $R^2 = 0.470$	$B = 166.9Q^{0.043}$ $R^2 = 0.416$	$H = 0.0245Q^{1.159}$ $R^2 = 0.872$
6	$V_m = 0.0003Q^{0.937}$ $R^2 = 0.992$	$V_{\max} = 0.0003Q^{0.989}$ $R^2 = 0.952$	$h_m = 5.9448Q^{0.040}$ $R^2 = 0.101$	$h_{\max} = 6.0489Q^{0.087}$ $R^2 = 0.539$	$B = 498.3Q^{0.022}$ $R^2 = 0.079$	$H = 0.3972Q^{0.685}$ $R^2 = 0.968$
7	$V_m = 0.0016Q^{0.889}$ $R^2 = 0.946$	$V_{\max} = 0.0024Q^{0.872}$ $R^2 = 0.954$	$h_m = 8.967Q^{0.053}$ $R^2 = 0.141$	$h_{\max} = 7.3888Q^{0.042}$ $R^2 = 0.089$	$B = 66.99Q^{0.169}$ $R^2 = 0.433$	–
8	$V_m = 0.0056Q^{0.899}$ $R^2 = 0.995$	$V_{\max} = 0.0116Q^{0.819}$ $R^2 = 0.955$	$h_m = 5.0140Q^{0.010}$ $R^2 = 0.019$	$h_{\max} = 5.9638Q^{0.018}$ $R^2 = 0.045$	$B = 41.46Q^{0.055}$ $R^2 = 0.377$	–
9	$V_m = 0.0030Q^{0.934}$ $R^2 = 0.981$	$V_{\max} = 0.0034Q^{0.966}$ $R^2 = 0.975$	$h_m = 8.5296Q^{0.172}$ $R^2 = 0.403$	$h_{\max} = 4.4697Q^{0.033}$ $R^2 = 0.219$	$B = 42.57Q^{0.223}$ $R^2 = 0.497$	$H = 5.0077Q^{0.474}$ $R^2 = 0.843$
10	$V_m = 0.0085Q^{0.849}$ $R^2 = 0.987$	$V_{\max} = 0.0150Q^{0.789}$ $R^2 = 0.932$	$h_m = 2.3768Q^{0.041}$ $R^2 = 0.158$	$h_{\max} = 4.3521Q^{0.025}$ $R^2 = 0.311$	$B = 48.54Q^{0.115}$ $R^2 = 0.376$	$H = 11.08Q^{0.391}$ $R^2 = 0.545$
11	$V_m = 0.0017Q^{0.871}$ $R^2 = 0.980$	$V_{\max} = 0.0021Q^{0.866}$ $R^2 = 0.990$	$h_m = 2.9851Q^{0.140}$ $R^2 = 0.584$	$h_{\max} = 12.95Q^{0.0003}$ $R^2 = 2 \times 10^{-5}$	$B = 207.8Q^{0.016}$ $R^2 = 0.090$	–
12	$V_m = 0.0009Q^{0.906}$ $R^2 = 0.990$	$V_{\max} = 0.001Q^{0.931}$ $R^2 = 0.934$	$h_m = 4.320Q^{0.049}$ $R^2 = 0.254$	$h_{\max} = 10.50Q^{0.018}$ $R^2 = 0.022$	$B = 247.5Q^{0.045}$ $R^2 = 0.094$	–
13	$V_m = 0.0066Q^{0.874}$ $R^2 = 0.974$	$V_{\max} = 0.0094Q^{0.862}$ $R^2 = 0.930$	$h_m = 2.6278Q^{0.088}$ $R^2 = 0.321$	$h_{\max} = 3.0335Q^{0.094}$ $R^2 = 0.441$	$B = 57.91Q^{0.036}$ $R^2 = 0.232$	–
14	$V_m = 0.0037Q^{0.970}$ $R^2 = 0.989$	$V_{\max} = 0.013Q^{0.768}$ $R^2 = 0.951$	$h_m = 5.6181Q^{0.005}$ $R^2 = 0.011$	$h_{\max} = 6.8795Q^{0.005}$ $R^2 = 0.017$	$B = 45.35Q^{0.040}$ $R^2 = 0.184$	–

наносов: расходом наносов R , кг/с, и средней мутностью s_m , кг/м³. В табл. 5 приведены степенные зависимости вида $R \sim Q^x$ и $s_m \sim Q^y$. По данным измерений в 2002–2004 гг. рассчитаны диапазоны показателей степени x и y для всех 14 створов: для R – от 1.705 до 2.992 кг/с, для s_m – от 0.710 до 2.581 кг/м³; средние: $x = 2.45$, $y = 1.45$. В итоге получены зависимости:

$$R \sim Q^{2.45}, \quad (8)$$

$$s_m \sim Q^{1.45}. \quad (9)$$

Зависимость (9) можно было бы найти даже без использования данных измерений; поскольку $s_m \sim R/Q$, то $s_m \sim Q^{2.45-1} \sim Q^{1.45}$.

Предпринята попытка установить, где в 2003 г. была верхняя граница зоны подпора, подверженная стабилизирующему влиянию уровня моря. Для этого построен график отметок уровня воды на семи постах вдоль придельтового участка Дуная и Килийской русловой системы в половодье и межень (рис. 3а) и график разности этих отметок (рис. 3б), характеризующий сезонный размах колебаний уровня воды вдоль рассматриваемого

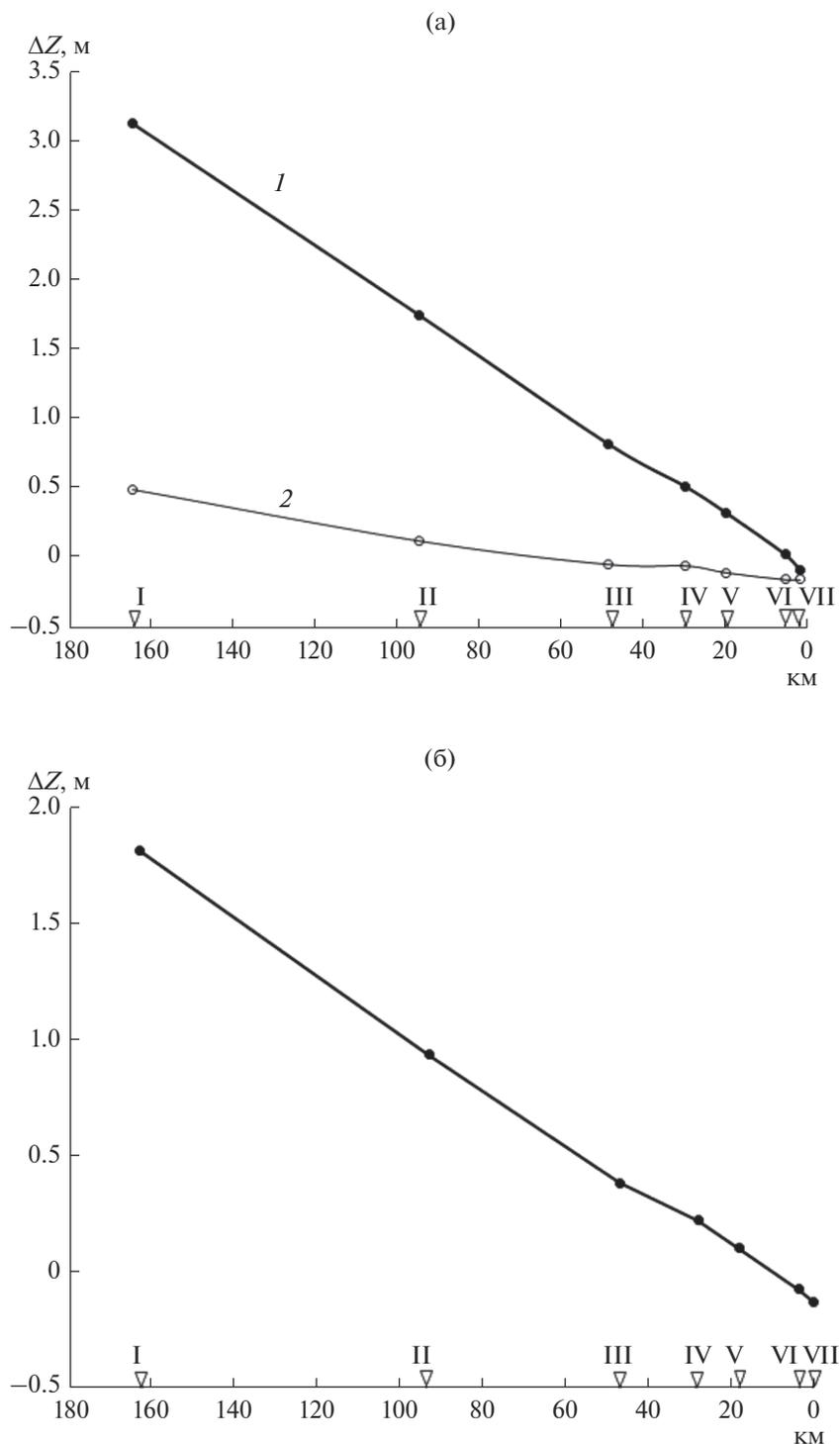


Рис. 3. Изменение вдоль придельтового участка Дуная и Килийской русловой системы в 2003 г.: а – среднемесячных отметок уровня воды в Балтийской системе высот в апреле (1) на максимуме половодья и сентябре (2) на минимуме межени; б – разности этих отметок. I–VII – местоположение постов согласно табл. 2.

участка. В 2003 г. размах колебаний уровня увеличивался с расстоянием от морского края дельты. Так, на посту Приморское (устьевое взморье) этот размах составлял всего 7 см, а на посту Рени

(163.3 км от моря) – 3.27 м. Выше поста Килия диапазон сезонных колебаний уровня воды начинает возрастать; это дало основание считать это место границей зоны подпора. Таким образом,

Таблица 5. Степенные связи между расходами воды Q , м³/с, и характеристиками стока взвешенных наносов

№ створа	R , кг/с	s , кг/м ³	№ г/с	R , кг/с	s , кг/м ³
1	$R = 2 \times 10^{-8} Q^{2.643}$ $R^2 = 0.855$	$s = 2 \times 10^{-8} Q^{1.636}$ $R^2 = 0.711$	8	$R = 4 \times 10^{-5} Q^{2.392}$ $R^2 = 0.845$	$s = 3.66 \times 10^{-5} Q^{1.417}$ $R^2 = 0.649$
2	$R = 10^{-7} Q^{2.566}$ $R^2 = 0.881$	$s = 10^{-7} Q^{1.552}$ $R^2 = 0.728$	9	$R = 10^{-5} Q^{2.496}$ $R^2 = 0.822$	$s = 1.37 \times 10^{-5} Q^{1.498}$ $R^2 = 0.626$
3	$R = 5 \times 10^{-8} Q^{2.717}$ $R^2 = 0.879$	$s = 5 \times 10^{-8} Q^{1.718}$ $R^2 = 0.744$	10	$R = 10^{-4} Q^{2.247}$ $R^2 = 0.719$	$s = 1.46 \times 10^{-4} Q^{1.240}$ $R^2 = 0.441$
4	$R = 3 \times 10^{-7} Q^{2.620}$ $R^2 = 0.884$	$s = 4 \times 10^{-7} Q^{1.611}$ $R^2 = 0.748$	11	$R = 10^{-6} Q^{2.422}$ $R^2 = 0.816$	$s = 1.2 \times 10^{-6} Q^{1.443}$ $R^2 = 0.612$
5	$R = 2 \times 10^{-7} Q^{2.719}$ $R^2 = 0.883$	$s = 2 \times 10^{-7} Q^{1.722}$ $R^2 = 0.754$	12	$R = 3 \times 10^{-7} Q^{2.581}$ $R^2 = 0.806$	$s = 4 \times 10^{-7} Q^{1.561}$ $R^2 = 0.607$
6	$R = 3 \times 10^{-9} Q^{2.992}$ $R^2 = 0.825$	$s = 3 \times 10^{-9} Q^{1.985}$ $R^2 = 0.676$	13	$R = 3 \times 10^{-4} Q^{1.963}$ $R^2 = 0.646$	$s = 2.98 \times 10^{-4} Q^{0.961}$ $R^2 = 0.303$
7	$R = 10^{-5} \times Q^{2.191}$ $R^2 = 0.678$	$s = 1.1 \times 10^{-5} Q^{1.196}$ $R^2 = 0.385$	14	$R = 1.3 \times 10^{-3} Q^{1.705}$ $R^2 = 0.872$	$s = 1.29 \times 10^{-3} Q^{0.710}$ $R^2 = 0.539$

протяженность зоны подпора в 2003 г. составила ~50 км. В другие годы она может быть больше и меньше в зависимости от величины водного стока Дуная.

Выше поста Рени (вплоть до плотины Железные Ворота–I) средний размах сезонных колебаний уровня воды в разные годы был в пределах 3–4 м [7], т.е. близким к аналогичной величине на посту Рени в 2003 г.

ВЫВОДЫ

В крупных неприливых дельтах существует типичная только для этих условий зона подпора с особыми зависимостями между разными гидролого-морфометрическими характеристиками русел рукавов. На примере Килийского рук. дельты Дуная выявлены особенности этой зоны, главная из которых – малая сезонная изменчивость всех характеристик потока и русла, кроме расхода воды, скорости течения, расхода взвешенных наносов и средней мутности. Чем ближе к морю, тем сильнее сказывается его стабилизирующее влияние.

Из-за недостатка данных зона подпора в большинстве неприливых дельт практически не изучена. Результаты исследований, полученные для

устьевой области Дуная, по которой имеются надежные данные измерений на многочисленных створах и постах, могут быть использованы при изучении других неприливых дельт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрология дельты Дуная. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
2. Гидрология устьевой области Дуная. М.: Гидрометеоздат, 1963. 383 с.
3. *Исупова М.В.* Естественные и антропогенные изменения водного и руслового режима устья Дуная // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2002. № 5. С. 56–61.
4. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
5. *Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В.* Основы гидрологии устьев рек. М.: Триумф, 2018. 313 с.
6. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: ГЕОС, 2013. 702 с.
7. *Mikhailova M.V.* Recent extreme floods and their transformation along the Danube River // Environ. Res., Engineering and Management. 2017. V. 73. № 1. P. 20–32.