

УДК 556.546

Е.Д. Гопченко, д.г.н., проф, А.И. Черой, асп.

Одесский государственный экологический университет

ВРЕМЯ РУСЛОВОГО ДОБЕГАНИЯ НА УКРАИНСКОМ УЧАСТКЕ РЕКИ ДУНАЙ

Время добегания водной массы от вершины устья до моря, в зависимости от водности Дуная изменяется от 1 до 5 суток. Получены расчетные схемы, позволяют определить время руслового добегания от в/п Рени до любого пункта в пределах украинского участка Дуная, при разной водности реки.

Ключевые слова: время добегания, скорость течения, гидрологический расчет, устье реки.

Вступление. Время руслового добегания используется при расчете движения водной массы, времени наступления максимума (минимума) уровня и расхода воды в интересующем пункте. Из-за наличия специфических условий в устьях рек, как правило, применяют специальную схему учета водного стока. Она заключается в установлении связей между уровнем воды в вершине устья с расходом воды в любом рукаве дельты. При построении кривых расходов необходимо учесть время руслового добегания от водомерного поста до гидроствора.

Украинский участок реки Дунай от г.Рени и до г.Вилково защищен противопаводковыми дамбами. В пределах устьевой области имеется 4 крупных водохранилища, а также водозабор оз. Сасык, водообмен в них осуществляется самотеком через шлюзы-регуляторы. Эксплуатация гидротехнических сооружений, принятие эффективных мер по защите населения от региона от опасных гидрологических явлений, должно осуществляться на основе фактической и прогнозной гидрологической информации.

Материалы и методы исследований. В работе использованы архивные материалы Дунайской гидрометеорологической обсерватории (г. Измаил).

Существует несколько способов определения времени руслового добегания: по соответственным уровням, путем расчета по теоретическим и полуэмпирическим формулам, а также по измеренным скоростям на гидростворах по длине реки.

При определении времени руслового добегания на коротких участках рек по методу соответственных уровней, необходимо использовать данные учащенных наблюдений. На водомерных постах украинского участка, наблюдение за уровнем производится, в основном, два раза в сутки в стандартные сроки (8 и 20 часов), поэтому определить время добегания, особенно в многоводные фазы водного режима, сопоставляя уровни на водомерных постах, весьма сложно. Действие сгонно-нагонных явлений, которые даже при слабом ветре затушевывают пики, ещё более усложняют выделение фазовооднородных уровней.

Использование «классических» теоретических и полуэмпирических формул также не позволяет установить среднюю скорость движения водной массы для устьевого участка Дуная.

В работе применен метод, с нашей точки зрения наиболее приемлемый для устья Дуная. Участок реки (рис.1) разделен на несколько отрезков (табл.1), для каждого из них получена скорость движения потока при заданном уровне на в/п Рени. Предполагается, что скорость течения на гидростворе (табл.1) равна скорости течения потока на всем участке. Время руслового добегания найдено как отношение расстояния к скорости движения водной массы.

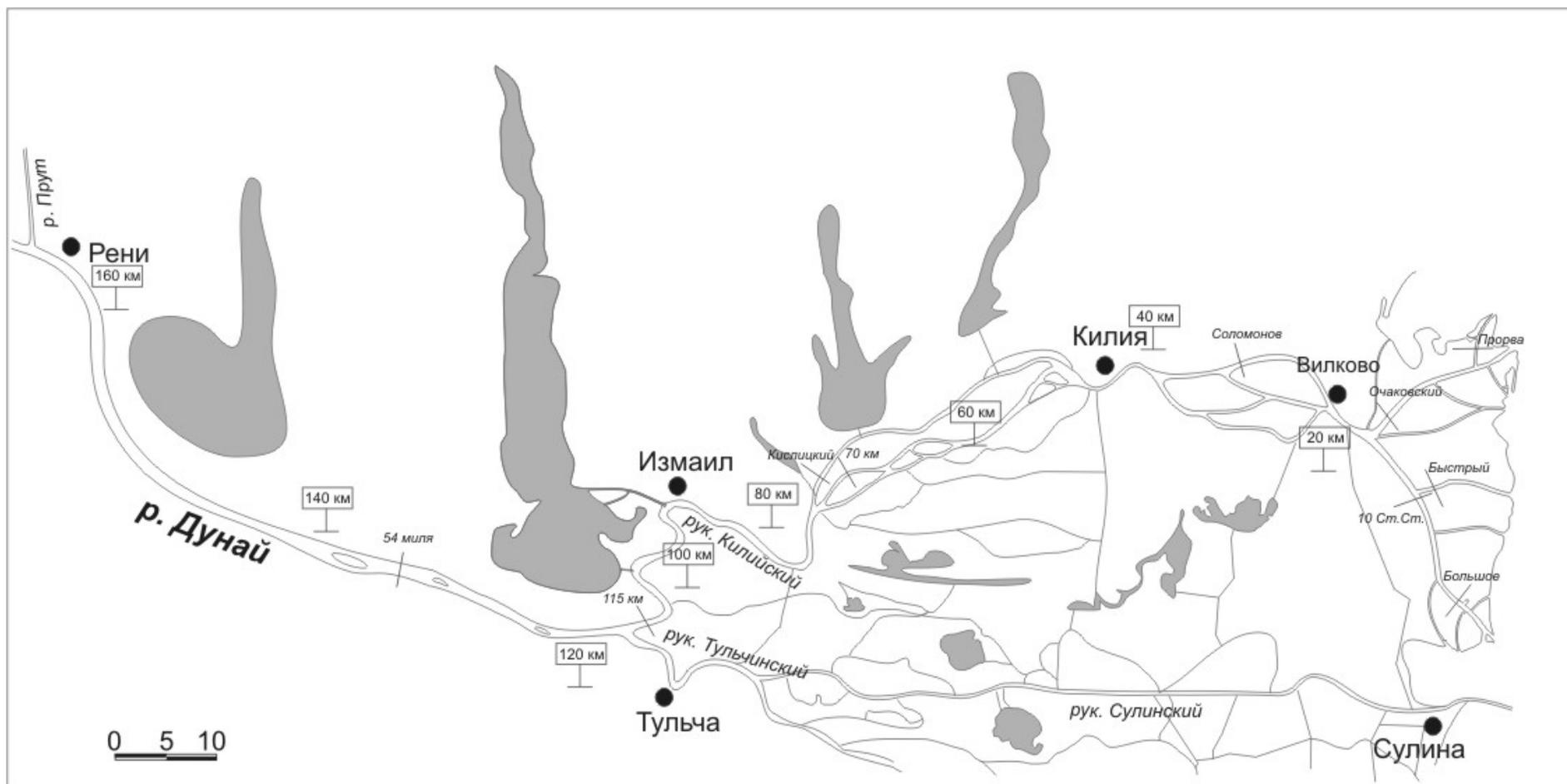


Рисунок 1- Карта-схема положения гидрологических постов в устье Дуная.

Таблица 1 – Характерные участки русла устьевого участка Дуная

Участок (км)	Длина участка (км)	Репрезентативный гидроствор
163,3-116,0	47,3	Дунай (54 миля)
116,0-76	40,0	Рукав Килийский (115 км)
76,0-32,0	44,0	Рукав Килийский (70 км)
32,0-21,0	11,0	Рукав Соломонов (10 км)
21,0-18,0	3,0	Рукав Килийский (20 км)
18,0-10,0	8,0	Рукав Старостамбульский (10 км)
10,0-00,0	10,0	Рукав Быстрый (9 км)

Максимальные и средние скорости определены по графикам связи $V_{i\ max} = f(H_{Рени})$, $V_{i\ mid} = f(H_{Рени})$, где $V_{i\ max}$, $V_{i\ mid}$ – максимальная и средняя скорости на i -м гидростворе, $H_{Рени}$ – среднесуточный уровень воды на в/п Рени, с учетом времени добегания. Среднее время добегания от в/п Рени до г/с 54 миля принято 0 суток, до г/с 115км – 1 сутки, до остальных гидростворов дельты 2 суток. Зависимости между уровнями и скоростями установлены по эмпирическому материалу, полученного в экспедициях Дунайской гидрометеорологической обсерватории за период 2000-2006 гг., и отвечают современным условиям дельты.

Результаты исследований и их анализ. Как указывается в [1], для расчета средней скорости наибольшее распространение получила формула (1)

$$V = (I^{0.5}/n)H^f \quad (1)$$

В ряде случаев для расчета средней скорости применяют формулу Шези

$$V = C(IR)^{0.5} \quad (2)$$

В работе рассчитаны средние скорости течения на гидростворах украинского участка по формулам (1) и (2). Сравнение рассчитанных скоростей течения со скоростями, снятыми с графиков $V_{i\ mid} = f(H_{Рени})$, представлено в табл.2.

Таблица 2 - Отклонение рассчитанных скоростей течения от снятых с графика связи $V_{i\ mid} = f(H_{Рени})$

$H_{Рени}$ (см)	Отклонение (%)					
	гидроствор 54 миля		гидроствор 70 км		гидроствор Быстрый	
	$V = C(IR)^{0.5}$	$V = (I^{0.5}/n)H^f$	$V = C(IR)^{0.5}$	$V = (I^{0.5}/n)H^f$	$V = C(IR)^{0.5}$	$V = (I^{0.5}/n)H^f$
0	44	72	-24	-10	-18	0
100	28	55	-20	-5	-2	16
250	14	40	-24	-10	-14	1
450	-3	20	-37	-24	-29	-16
500	-12	9	-42	-31	-32	-19
560	-16	5	-55	-46	-39	-28

Расчет скорости производится с использованием гидравлических и морфометрических характеристик русла, изменяющихся не одинаково на различных участках с изменением водности. Установлено, что для гидроствора 54 миль средняя глубина может быть получена по линейному уравнению (3)

$$h_{cp}=0,0074H_{Рени}+8,8 \quad (3)$$

Коэффициент корреляции между h_{cp} и $H_{Рени}$ равен 0.92. На гидростворе 70км коэффициент корреляции между уровнем и средней глубиной уменьшается до 0,46 (сказывается выход воды на пойму), а на гидростворе рукава Быстрый до 0,24. Также неоднородны в пространстве и времени параметры, определяющие сопротивление русла. Как видно из табл.2, величины скоростей отличаются на величину до 70 % и при этом не имеют четко выраженной тенденции, как в сторону завышения, так и занижения. Поэтому применять эти и другие формулы в устье Дуная без уточнения параметров уравнений, для каждого гидроствора, не рекомендуется.

В процессе движения воды в русле, время добегаия центральных струй, испытывающих наименьшее сопротивление минимально. При прохождении паводка, максимальная скорость в заданном сечении реки, наблюдается раньше, чем максимальный уровень. Исходя из этих положений, считаем целесообразным различать время руслового добегаия, рассчитанного по средним ($\tau_{V_{cp}}$), и по максимальным скоростям ($\tau_{V_{max}}$) в сечении реки. $\tau_{V_{cp}}$ следует применять в случае установления фазовооднородных уровней или расходов воды в створах дельты, а расчет движения загрязненной водной массы нужно вести по $\tau_{V_{max}}$.

На рис.2 приведены номограммы для определения времени руслового добегаия при разной водности реки. Время добегаия водной массы от вершины устья до впадения в море изменяется от 1 суток при экстремально высоких уровнях, до 4 - 5 суток в условиях низкой межени. Связи хорошо аппроксимируются прямой

$$\tau_{H_{Рени}}= a_{H_{Рени}}L, \quad (4)$$

где $\tau_{H_{Рени}}$ и $a_{H_{Рени}}$ – время руслового добегаия и тангенс угла наклона линии связи при заданном уровне на в/п Рени, L – расстояние от Рени до интересующего пункта. Коэффициент линейной корреляции между $\tau_{H_{Рени}}$ и L во всех случаях оказался больше 0,99. Для удобства расчета предлагаем таблицу с полученными коэффициентами $a_{H_{Рени}}$ (табл.3)

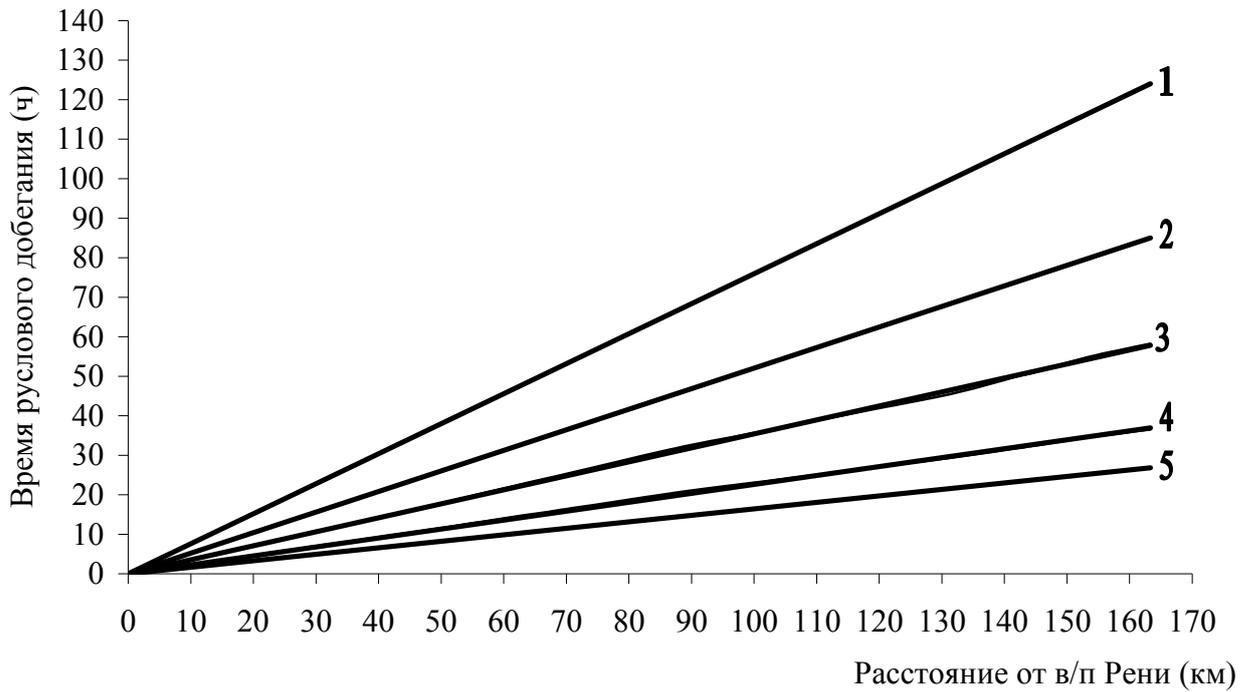
Таблица 3 - Коэффициенты $a_{H_{Рени}}$ для расчета времени руслового добегаия

$H_{Рени}(см)$	0	100	250	450	500	560
$a_{H_{Рени}}$ для расчета $\tau_{V_{cp}}$	0,759	0,520	0,354	0,226	0,195	0,164
$a_{H_{Рени}}$ для расчета $\tau_{V_{max}}$	0,587	0,397	0,268	0,168	0,141	0,124

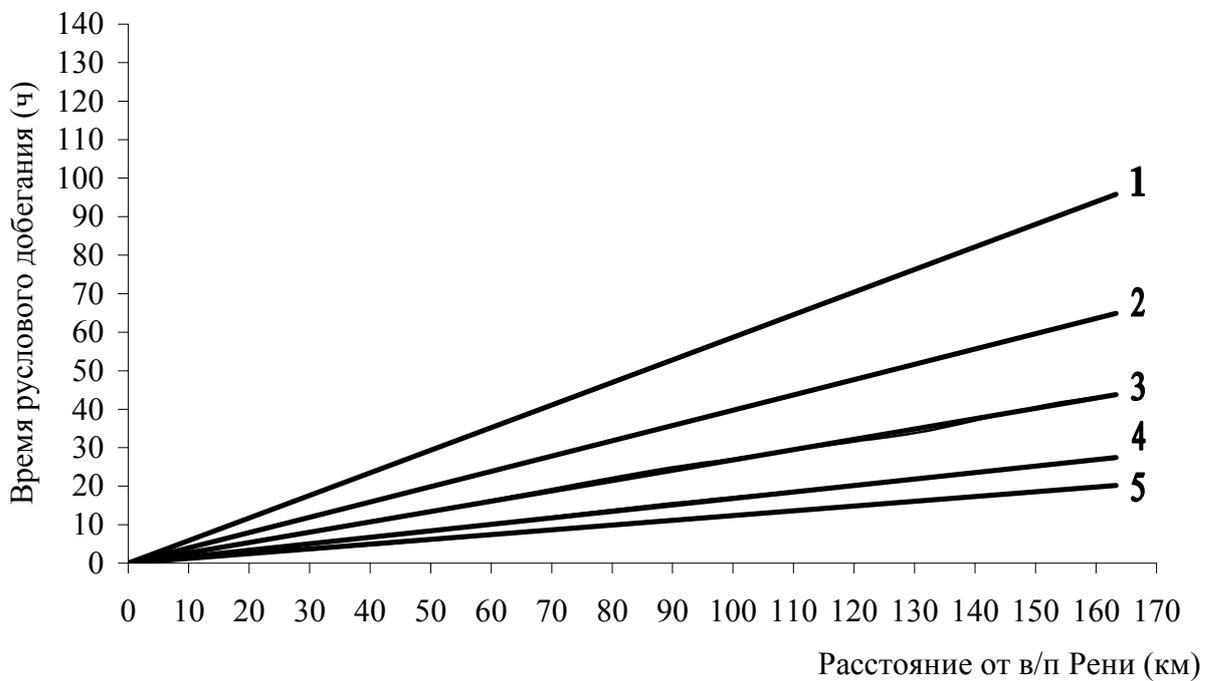
Рассчитывая время добегаия с использованием коэффициентов табл.3, допускается применять метод линейной интерполяции.

При уровнях низкой межени ($H_{Рени} < 100$ см) $\tau_{V_{max}}$ меньше $\tau_{V_{cp}}$ в среднем на 30%. При высоком половодье ($H_{Рени} > 500$ см) и продолжающимся подъеме отличие $\tau_{V_{max}}$ от $\tau_{V_{cp}}$ на некоторых участках достигает 40%.

а)



б)



1-соответствует $H_{Рени}=0$ см, 2 - $H_{Рени}=100$ см, 3 - $H_{Рени}=250$ см, 4 - $H_{Рени}=450$ см, 5 - $H_{Рени}=560$ см.

Рисунок 2 - Изменение времени руслового добегаания по длине реки. а) расчет по средним скоростям , б) расчет по максимальным скоростям.

Выводы. 1. Время руслового добегания, важная характеристика водного потока, которую необходимо учитывать при различных гидрологических и водохозяйственных расчетах в устьевой области реки Дунай.
2. Величины средних скоростей потока, определенные по теоретическим формулам, в основном, значительно отличаются от измеренных и не могут быть приняты для расчета времени руслового добегания.
3. Авторы различают время руслового добегания, рассчитанное по максимальным и средним на участке скоростям. В зависимости от фазы водности для украинского участка эти две характеристики отличаются на 30-40%.
4. При высоком половодье водная масса, поступившая в вершину устьевой области, проходит украинский участок реки за 1 сутки и за 5 суток – в условиях низкой межени. Время руслового добегания от в/п Рени до моря при средней водности реки составляет около 58 часов.

Список литературы

1. *Труды* Одесского гидрометеорологического института. Вып. XIV. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – с.172.

Час руслового добігання на українській ділянці річки Дунай. Гопченко Є.Д. Черой О.І.

Час добігання водної маси від вершини гирла до моря, залежно від водності Дунаю, змінюється від 1 до 5 діб. Одержані розрахункові схеми дозволяють визначити час руслового добігання від в/п Рені до будь-якого пункту в межах української ділянки Дунаю при різній водності річки.

Ключові слова: час добігання, швидкість течії, гідрологічний розрахунок, гирло річки.

Travel time on Ukrainian part of Danube river. Gopchenko E. Cheroy O.

Travel time of water mass from the top of the mouth area to the sea, depending on the water regime of Danube, changes from 1 to 5 days. The set of computation schemes were developed to define travel time from the top of the mouth area to any point downstream the Chilia branch for different phases of water regime.

Keywords: travel time, speed of stream, hydrological calculation, river mouth.