

Р.Я.Миньковская

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ЧЁРНОЙ (СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ РЕГИОН)

Недостаточная изученность режима устьевых областей малых рек является препятствием для рационального использования их природных ресурсов, осуществления природоохранных мероприятий, устойчивого развития территорий. На основе обобщения и анализа данных многолетних наблюдений Гидрометеослужбы Украины дана геофизическая характеристика устьевой области р.Чёрной – важнейшего природного комплекса Севастопольского региона.

В настоящее время в Украине насчитывается 52 малые (с постоянным и непостоянным стоком, исключая ручьи и балки) реки, впадающие в Чёрное и Азовское моря либо лиманы, заливы и бухты, лагуны, лимано-лагуны, имеющие свободный или ограниченный обмен с морем, а также отделённые от моря косами, пересыпями или дамбами. Устьевые области малых рек практически остаются малоизученными географическими объектами, несмотря на то, что в их пределах расположены крупные центры страны (г.Мариуполь, г.Одесса, г.Николаев, г.Севастополь и др.), осуществляется интенсивное хозяйствование как в морских устьях, так и в бассейнах рек.

Если морские устья малых рек и изучаются, то эпизодически, на отдельных участках, различными службами и ведомствами, исследования которых не координируются. Устьевая область реки при этом не выделяется в отдельный географический объект, что препятствует накоплению и систематизации информации о морском устье как целостной геофизической системе, с характерными для неё устьевыми процессами. Не исключением является и устьевая область р.Чёрной. Поэтому цель работы – дать характеристику морского устья р.Чёрной как единого комплексного водного объекта, с присущими ему геофизическими особенностями.

Материалы и методика исследований. Отсутствие оптимизированной системы наблюдений в устьевой области реки, как в едином природном объекте, проведение эпизодических несогласованных исследований различными организациями, по разным программам и в отдельных частях устья, отразились на качестве имеющихся материалов. Морским отделением Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ) выполняются, в основном, гидрологические и гидрохимические исследования Севастопольской бухты, Центром по гидрометеорологии в Автономной республике Крым (ЦГМ в АРК) – р.Чёрной. На основе материалов наблюдений этих организаций получены геофизические характеристики Севастопольской бухты и р.Чёрной в вершине её устьевой области.

С 1941 по 1978 гг. гидрологические измерения производились на посту в с.Чернореченском (11 км от устья реки), с 1979 г. по настоящее время – в с.Хмельницком (11 км от устья, площадь водосбора 342 км²). В обобщении

данные гидрологических наблюдений в с.Хмельницком объединены с наблюдениями в с.Чернореченском, т.к. ряд наблюдений однородный, что подтверждается оценкой однородности рядов по критерию Вилькоксона.

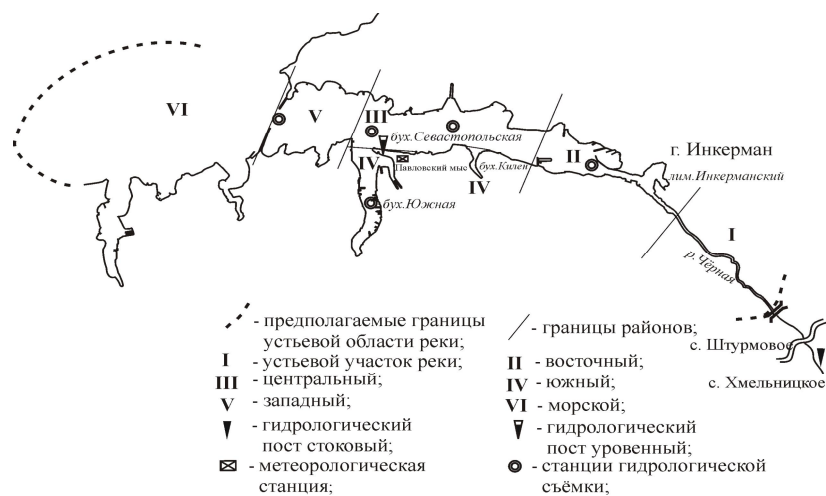
Для климатической характеристики использованы данные метеостанции, расположенной в г.Севастополе, которая в 1909 г. была перенесена на Павловский мыс. Здесь же расположен водомерный пост, по материалам наблюдений которого дана характеристика водного режима в прибрежной части устьевого взморья.

Геофизическая характеристика устьевой области р.Чёрной выполнена за современный климатический период (1961 – 2007 гг.) по данным Гидрометеослужбы Украины и различным литературным источникам с использованием статистических методов.

Физико-географическая характеристика. Устьевая область реки является особым водным объектом, формирующимся под влиянием реки, моря, атмосферы и суши. Основные геофизические характеристики морского устья зависят от рельефа местности, климатических условий и водного режима реки и приёмного водоёма.

Границы и районирование. Устьевая область р.Чёрной включает устьевой участок реки, от створа в Инкерманской долине, в районе с.Штурмовое, Инкерманский лиман, Севастопольскую бухту и прилегающую к ней часть моря. В указанных границах происходят типичные для морских устьев процессы переноса, распространения, смешения воды и веществ, формируется устьевая циркуляция вод, происходит трансформация ионного состава воды и др. Поэтому целесообразно рассматривать не только отдельные компоненты устьевой области реки, как делалось ранее, но и исследовать это морское устье, как единую геофизическую, гидрохимическую и гидробиологическую систему, с взаимосвязанными компонентами.

На рис.1 представлена устьевая область р.Чёрной в условных границах, определённых предварительно по данным о степени влияния речного стока на взморье и нагонных явлений на устьевой участок реки. По прибли-



Р и с . 1 . Районирование устьевой области р.Чёрной.

тельной оценке площадь устьевой области реки в этих границах составляет около 23 км². Речная и морская границы устьевой области р.Чёрной требуют уточнения. В пределах морского устья выделены характерные участки. На устьевом участке реки (I) преобладают речные факторы – это зона транзита стока. Зона смещения (II, III, V, VI) включает восточную, центральную и западную части Севастопольской бухты, а также прилегающую часть моря, куда поступает, в основном, распреснённая вода из бухты. Южный район (IV), к которому относятся бух.Южная и бух.Килен, характеризуется затрудненным водообменом с основной акваторией бухты. Восточный район можно разделить на два подрайона: Инкерманский лиман и прилегающую часть бухты. Подрайоны связаны широким и коротким проливом.

Устьевой участок реки протяжённостью около 3 км является бесприоточным; имелось несколько мелких прудов, каналы, старицы. Жилая застройка, строительство дорог, мостовых переходов, каналов, прудов и обвалование русла изменили естественные условия образования гидрографической сети. По картографическим материалам конца XIX – начала XX вв. конфигурация водотоков и водоёмов отличалась от современных. Не исключено, что ранее в устьевом лимане формировалась дельта выполнения и р.Чёрная впадала в Инкерманский лиман несколькими рукавами, один из которых был расположен на 120 м севернее современного русла. Естественные процессы устьеформирования в настоящее время нарушены в результате различных водохозяйственных мероприятий (сооружения водохранилищ, прудов, молов, дамб и др.). При естественном режиме стока реки Инкерманская долина затоплялась в период паводков, а в межень русло реки пересыхало, в настоящее время по руслу в основном осуществляется незначительный сток.

Устьевое взморье лиманно-бухтового типа состоит из взаимосвязанных водоёмов (Инкерманский лиман и Севастопольская бухта) и прилегающей к Севастопольской бухте части Чёрного моря. Эти устьевые водоёмы являются затопленной морем долиной р.Чёрной. По данным Короновского Н.В., Якушовой А.Ф., Щукина Е.С. [1, 2] их образование произошло из-за опускания суши и повышения уровня Мирового океана (например, в послеледниковую фландрскую трансгрессию), в результате чего море вторглось в устьевую часть эрозионной долины р.Чёрной. Узкая часть Инкерманского лимана имеет протяжённость около 900 м, глубину 1 – 3,5 м и по направлению к бухте расширяется с 50 до 90 м. Затем лиман на протяжении 500 м расширяется до 650 м, глубина достигает 7 м. Инкерманский лиман соединяется с Севастопольской бухтой проливом, протяжённость которого 630 м, ширина 150 м. Площадь Инкерманского лимана составляет 0,35 км², Севастопольской бухты 7,96 км², открытого устьевого взморья около 14,5 км². По приблизительной оценке протяжённость бухты 6,5 км, устьевого взморья по оси бухты 15 км. Средняя глубина Севастопольской бухты около 13 м, при этом она увеличивается по направлению к морю с 8,8 до 16,2 м. Севастопольская бухта, пра-устье р.Чёрной, представляет собой комплекс из 15 бухт. В бухту впадают балки и овраги, вероятно ранее по ним осуществлялся поверхностный сток, и бухты в их устье образовались при затоплении долин водотоков. В настоящее время в некоторых балках отмечается подрусловой сток. Берега бухты урбанизированы.

Рельеф местности расчленён, предгорья имеют вид типичных куэстовых гряд, с пологими и длинными северными склонами. Вдоль оси бухты проходит линия регионального Чернореченского разлома земной коры. По данным отдела сейсмологии ИГ НАНУ зона является сейсмогенной (с умеренной сейсмической активностью). Большая часть устьевой области реки относится к району сейсмичностью 8 баллов, а на устьевом участке реки сейсмичность выше на 1 балл, т.е. 1 раз в 1000 лет и более могут отмечаться сильные разрушительные 9-ти балльные землетрясения [3].

Долина р.Чёрной на устьевом участке – ящикообразная, шириною 600 – 1300 м, сложена верхнечетвертичными и современными аллювиально-пролювиальными гравийно-галечными отложениями с суглинистым заполнителем мощностью 5 – 10 м. Абсолютные отметки 0,5 – 100 м, глубина эрозионного вреза 20 – 50 м, крутизна склонов 10 – 30°, местами берега обрывистые. Наиболее мощные аллювиальные отложения – в приустьевых участках р.Чёрная. Четвертичные образования, представленные аллювиальными отложениями, здесь и в бухте достигают 40 – 45 м.

Русло извилистое, шириною 2 – 25 м, песчано-галечное, слабо деформирующееся. Русловые образования из гравия, песка и глины. Аккумулятивная двухсторонняя пойма имеет две террасы шириной 50 – 700 м. Отмечаются современные эрозионные процессы. Переработка берегов умеренная, местами сильная.

Берег устьевом взморья абразионно-бухтовый ингрессионный первичного расчленения в скальных породах (риасового типа). Имеются оползни, оползнеопасные, активно абрадируемые и подтопляемые участки. Средняя скорость абразии 0,2 м/год [3]. Левобережье Севастопольской бухты отнесено к участку со слабой степенью селеопасности, т.е. здесь отмечаются территории с развитием мелких селевых очагов. Сход селей возможен 1 раз в 15 – 20 лет.

Климат. Географическое расположение Крымского п-ова, вдающегося в Чёрное море далеко от общей береговой черты материка, и небольшая площадь устьевой области реки обуславливают значительное влияние моря на климат устья, что проявляется в сглаженном годовом и суточном ходе температуры воздуха. Горы Крымского п-ова, долина реки изменяют направление переноса воздушных масс, способствуют зарождению местной циркуляции, что также отражается на климатических условиях. Весна здесь более холодная (по сравнению с континентальными районами), затяжная, осень поздняя, тёплая, с осадками, зима мягкая, морозы устанавливаются редко.

Температура воздуха. Анализ многолетней (с 1961 по 2007 г.) изменчивости средней годовой температуры воздуха показал отсутствие значимых тенденций. От средней многолетней температуры воздуха (12,3 °С) (табл.1) ежегодные средние значения отклоняются в пределах $\pm 1,5 - 2$ °С. Средняя месячная температура воздуха изменялась от – 3,6 (январь 1950 г.) до 25,6 °С (июль 1999 г.), средний размах 19,5 °С. Наибольшая изменчивость средней месячной температуры воздуха характерна для зимних месяцев (СКО составляет 26 – 89 % от средней месячной многолетней величины), с мая по сентябрь изменчивость наименьшая (СКО равно 5 – 8 % от среднего значения). Размах суточного хода температуры воздуха составляет 2 – 6 °С.

Температура воздуха зимой [4] может достигать и – 22 (1929 и 1940 гг.)

и 25 °С (1977 г.), в зависимости от особенностей атмосферной циркуляции, летом она может понизиться при похолодании до 6 °С (1982 г.) или повыситься до 38 °С (1888 г.).

Среднее число дней с оттепелью за год составляет 80 – 85, с похолоданием не превышает 10. Продолжительность безморозного периода значительная (220 – 230 дней и более); на поверхности почвы, в среднем, 200 дней в году заморозков не бывает.

Ветер. Средняя годовая скорость ветра составляет 4 м/с. В холодный период года погода более ветреная, наибольшая средняя месячная скорость ветра отмечается с декабря по март (4,5 – 4,7 м/с), наименьшая – с мая по октябрь (3,8 – 4,0 м/с). Зимой СКО скорости ветра достигает 1 м/с, летом составляет 0,4 – 0,5 м/с. Суточный ход характерен для бризов и других местных ветров, которые могут отмечаться в любое время года, обычно с апреля по ноябрь. Повторяемость штилей и ветра до 1 м/с составляет около 6 %, слабого ветра переменных направлений скоростью 1 – 5 м/с 67 %; в 25 % случаев наблюдается ветер скоростью 6 – 10 м/с; с повторяемостью около 2 % скорость ветра превышает 10 м/с. В среднем один раз в 15 лет скорость ветра достигает 30 м/с, максимальная скорость ветра, равная 40 м/с, бывает не чаще 1 раза в 100 лет [5].

В последние 30 лет средняя годовая скорость ветра уменьшается, в основном из-за зимнего периода, когда и отмечается уменьшение скорости ветра. Это, вероятно, связано с глобальными и местными изменениями климата, увеличением защищённости метеоплощадки из-за застройки и сменой способа измерения ветровых характеристик.

Наибольшее воздействие на гидрологический режим устьевой области реки оказывает юго-западный, северо-западный, юго-восточный и западный ветер. Преобладающий северо-восточный ветер под влиянием местного рельефа (горы, речная долина) трансформируется в восточный, поэтому восточное направление имеет наибольшую повторяемость (23 %). Южный ветер в среднем за год имеет повторяемость 20 %, что обусловлено особенностями расположения метеостанции в г. Севастополе. Наиболее редко отмечается юго-восточный ветер, его повторяемость составляет около 3 %.

Штормовые западные и северо-западные ветра вызывают нагоны на устьевое взморье и являются наиболее волноопасными. Так, западный ветер в 1954 г. имел скорость 40 м/с, северо-западный в 1981 г. 30 м/с. Чаще всего именно северо-западный ветер достигает особо опасного критерия (25 м/с и более) и наносит ощутимый материальный ущерб.

Осадки. Среднее за год количество осадков – около 430 мм, в летний период их выпадает 200 – 250 мм. 5 % от общей суммы составляют твёрдые и 15 % – смешанные осадки.

Количество выпадающих за год осадков за период с 1961 по 2007 гг. не имеет значимых тенденций. Минимальная за год сумма осадков составляла 108 мм, максимальная 678 мм (табл.1). В среднем годовые суммы осадков отклоняются от нормы на ± 17 %.

Годовой ход осадков хорошо выражен: в зимний период среднее месячное количество осадков наибольшее: 30 – 50 мм (с максимумом в декабре), с марта по август не превышает 30 мм. Внутри календарного года осадки

распределяются довольно равномерно: зимой 30, весной 20, летом 23 и осенью 27 % от их годового количества. Максимальный слой выпавших за сутки осадков составлял 75 мм (2 июля 1968 г.).

В среднем в г. Севастополе бывает около 100 дней с дождями, в эти дождливые дни осадки в среднем за год выпадают в течение 516 ч (около 22 сут). Максимальная продолжительность осадков (55 – 95 ч) и минимальная интенсивность осадков (0,006 – 0,0010 мм/мин) наблюдаются в холодный период года (с ноября по март), а наименьшая продолжительность (10 – 35 ч) и наибольшая интенсивность осадков (0,020 – 0,060 мм/мин) – в тёплый период года (с мая по сентябрь). Максимальная интенсивность осадков может достигать 0,5 мм/мин [5].

Среднее за год число дней с количеством осадков 10 мм и больше составляет 10 – 12.

Устойчивый снежный покров образуется редко, слой снега в среднем составляет 1 – 3 см; иногда может наблюдаться интенсивный снегопад, когда выпадает снег слоем 30 – 40 см. В среднем только в 2 % зим устанавливается снежный покров, в основном вскоре после снегопада он тает. Чаще всего снег появляется в третьей декаде декабря и в третьей декаде февраля он сходит.

Сток воды в вершине устьевого области реки. В бассейне реки 45 гидротехнических сооружений, из них 3 подпорных, 10 насосных станций. В 1954 г. сооружено Чернореченское водохранилище, эксплуатация которого и водозабор воды для нужд водообеспечения отразились на водном режиме реки и её устьевого области. Поэтому характеристики водного режима обобщались за период зарегулированного стока реки (для сопоставления с метеорологическими данными с 1961 г.). Сток, учитывающийся в с. Хмельницком, принят за сток в вершину устьевого области реки, т.к. 8-ми километровый участок реки между этими створами является беспроточным.

Табл. 2 даёт представление об основных характеристиках водоносности реки в вершине её устьевого области.

Периодичность циклических изменений водоносности реки соответствует периодам изменения солнечной активности (11 – 12; 22; 33 года); отмечаются также 3 – 4-х годовые колебания. Река имеет паводочный режим стока, преобладает дождевое и смешанное питание. По водному режиму, согласно классификации Львовича М.И. [6], она относится к Крымскому типу. Многолетних тенденций в изменении средних годовых расходов воды не обнаружено.

Для рассматриваемого морского устья характерно изменение внутригодового распределения стока после сооружения Чернореченского водохранилища: сток маловодного периода увеличился, многоводного – уменьшился. Коэффициент неравномерности стока в году, характеризующий его внутригодовое распределение в современный период (с 1961 по 2007 гг.), равен 2,7, т.е. максимальный средний месячный расход воды больше минимального среднего месячного почти в три раза. Наибольшая изменчивость среднего месячного расхода воды отмечается в феврале, наименьшая – в августе.

Из-за регулирования стока реки водохранилищем и паводков, которые иногда совпадают по времени прохождения с половодьем, фазы водного режима выделить затруднительно, особенно в отдельные годы. Наиболее многоводным годом был 1968 г., наименьшая водность реки отмечалась в 1994 г.;

Т а б л и ц а 1. Метеорологические характеристики (г.Севастополь).

сумма осадков, мм		характерная температура воздуха, °С		число дней с морозом		характеристика ветра			
средняя годовая	426	средняя годовая	12,3	среднее годовое	49	средняя годовая скорость, м/с 4,2			
наибольшая	678	средняя за январь	3,2	наибольшее	91	максимальная скорость, м/с 40			
год	1997	средняя за июль	22,4	год	1920	среднее число дней со скоростью ветра			
наименьшая	108	абсолютный минимум	- 22,0	наименьшее	13	≥ 8	≥ 15	≥ 20	≥ 30
год	1902	абсолютный максимум	38,0	год	1966	169	39	1	0,1

Т а б л и ц а 2. Характеристика стока воды в вершине устьевой области р.Чёрной за период с 1961 по 2007 гг.

сток воды за год, км ³	средний годовой			коэф-фициент стока	СКО расхода воды, м ³ /с	средний годовой расход воды, м ³ /с/год		размах расхода воды, м ³ /с	коэффициенты вариации (C _v) / асимметрии (C _s)	ошибка среднего значения расхода воды, %
	расход воды, м ³ /с	слой стока, мм	модуль стока, л/с·км ²			наибольший	наименьший			
0,058	1,83	136	4,29	0,32	0,82	4,65/1968	0,43/1994	4,22	0,45 / 1,15	6,7

Т а б л и ц а 3. Средний месячный расход воды р.Чёрной у с.Хмельницкое и его статистические характеристики (1961 – 2007 гг.).

характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
средний месячный расход воды, м ³ /с	2,30	2,89	3,10	2,64	1,63	1,47	1,20	1,17	1,19	1,24	1,31	1,85
СКО расхода воды, м ³ /с	2,00	2,92	2,57	2,63	0,94	0,99	0,40	0,36	0,42	0,72	0,78	1,67
наибольший средний месячный расход воды, м ³ /с	10,7	15,2	10,3	12,8	4,30	6,66	2,28	1,92	2,44	4,57	4,97	9,45
наименьший средний месячный расход, м ³ /с	0,47	0,33	0,53	0,48	0,48	0,29	0,085	0,11	0,062	0,081	0,079	0,44
размах расхода воды, м ³ /с	10,2	14,9	9,77	12,3	3,82	6,37	2,20	1,81	2,38	4,49	4,89	9,01
коэффициенты вариации (C _v) и асимметрии (C _s)	<u>0,9</u> 2,3	<u>1,0</u> 2,6	<u>0,8</u> 1,3	<u>1,0</u> 2,3	<u>0,6</u> 1,6	<u>0,7</u> 4,0	<u>0,3</u> - 0,3	<u>0,3</u> - 0,9	<u>0,4</u> - 0,3	<u>0,6</u> 2,6	<u>0,6</u> 2,5	<u>0,9</u> 3,1
ошибка среднего значения расхода воды, %	13,0	15,0	12,4	14,9	8,6	10,0	4,9	4,6	5,3	8,6	8,9	13,5

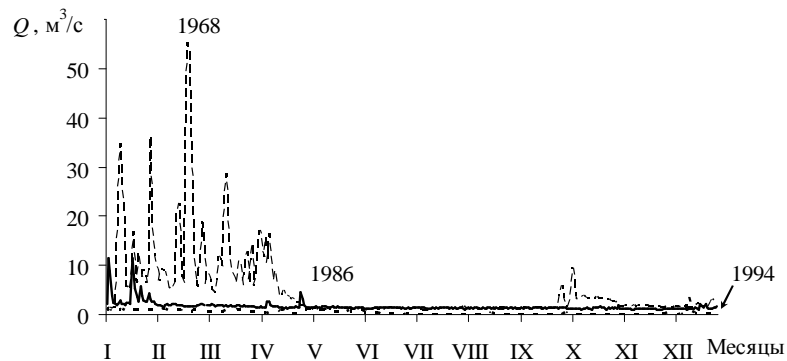


Рис. 2. Внутригодовое распределение расхода воды р. Чёрной в с. Хмельницком в многоводный (- - -), средний по водности (—) и маловодный (.....) годы.

1986 г. был средним по водности (рис.2). При анализе среднего многолетнего гидрографа стока выделяется два периода: многоводный период (с декабря по апрель включительно), когда проходит 51,2 % от годового стока, и маловодный (с мая по ноябрь). В вершине устьевой области р. Чёрной межень довольно устойчива: с мая по сентябрь сток реки регулируется Черно-реченским водохранилищем. Наибольший расход отмечается в марте, наименьший – в августе (табл.3).

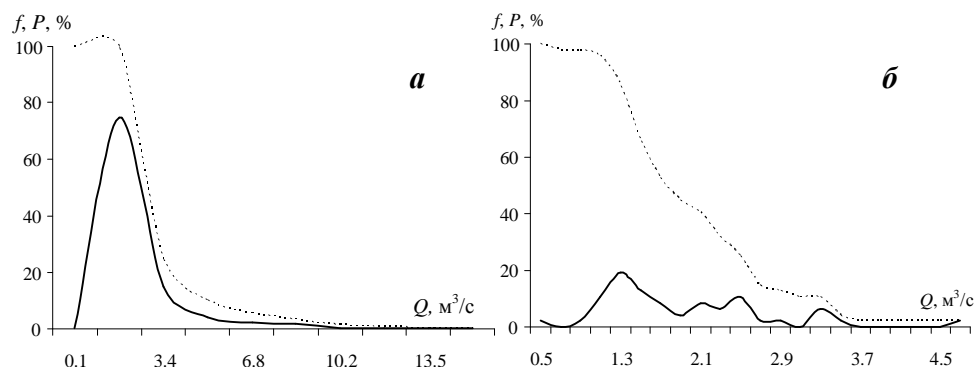
Для периода межени характерна наименьшая межсуточная изменчивость расхода воды. Величины расхода воды отклоняются от средних месячных значений в пределах $\pm 15\%$, следовательно, при отсутствии стокообразующих осадков средний за сутки расход воды р. Чёрной близок к среднему месячному значению. Водность р. Чёрной может изменяться как ежедневно, так и оставаться постоянной в течение декады. При выпадении стокообразующих осадков, в период паводков, сбросов из водохранилища сток за одни сутки может увеличиться в 3 – 10 раз.

Особенности формирования и изменчивости водного режима р. Чёрной отражаются на функциях распределения средних месячных и средних годовых расходов воды, для которых характерна асимметрия в сторону минимальных значений, что видно из рис.3.

Асимметричность распределения значений среднего месячного стока воды обусловлена тем, что максимальный сток формируется, в основном, при выпадении осадков, воздействующих на большую часть бассейна реки, поэтому кривая распределения стока в вершине устьевой области реки аналогична кривой распределения слоя стокообразующих осадков, которая в условиях засушливого климата отличается от нормальной.

Многомодальность распределения средних годовых расходов воды (рис.3) свидетельствует о том, что регулирование стока р. Чёрной в многоводные, маловодные и средние по водности годы имеет свои особенности – величины стока в годы с различной водностью образуют статистические совокупности, характеризующиеся неодинаковыми распределениями.

Расчёт критерия случайности δ (который равен 0,81) показал, что с более чем 95 %-ной вероятностью отмечается внутрирядная стохастическая связь значений годового стока.



Р и с . 3 . Кривая распределения эмпирической вероятности (f , %) (—) и эмпирическая кривая обеспеченности (P , %) (.....) средних месячных (а) и годовых (б) значений расхода воды р.Чёрной у с.Хмельницкое.

Максимальный расход воды р.Чёрной ($105 \text{ м}^3/\text{с}$), в 57 раз превышавший норму, отмечался в 1955 г., абсолютный минимум равен нулю, т.к. иногда (например, в период заполнения Чернореченского водохранилища, с 19 июня по 8 декабря 1954 г. и с 23 июня по 11 октября 1955 г., в течение 213 суток) стока в р.Чёрной у с.Хмельницкое не наблюдалось.

На устьевом участке р.Чёрной в отдельные годы, в период межени, сток практически отсутствовал, особенно до сооружения водохранилища и в период его наполнения. Попуски из Чернореченского водохранилища способствовали увеличению меженного стока, и р.Чёрная у с.Хмельницкое в настоящее время (с 1956 г.) не пересыхает.

В период естественного режима стока в низовье реки расход воды превышал вышеприведенное экстремальное значение, 27 декабря 1939 г. в вершине устья р.Чёрной расход воды достигал $175 \text{ м}^3/\text{с}$. Это значение получено по восстановленному ряду, удлинённому по данным вышерасположенного поста (коэффициент корреляции используемой зависимости составляет 0,97).

Характеристикой влияния стока реки на устьевое взморье может служить отношение стока воды к объёму (или площади) устьевое взморья целиком или той его части, на которую в среднем распространяется речное влияние. Так, годовой сток р.Чёрной меньше объёма Севастопольской бухты (включая Инкерманский лиман) в 1,9 раз, модуль стока (на единицу площади указанной части устьевое взморья) равен $220 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$.

Уровень воды. Наибольший интерес для практики представляют характерные уровни воды: средние, наивысшие и наинизшие. Они учитываются при проектировании гидротехнических сооружений, разработке противопаводковых мероприятий, расчёте прочности сооружений, использовании водных ресурсов в различных целях. Характерные уровни воды в с.Хмельницкое и г.Севастополе представлены в табл.4.

Падение уровня воды (при средних гидрометеорологических условиях) между вершиной устьевой области (с.Хмельницкое) и устьевым взморьем (г.Севастополь) составляет 15,7 м, средний уклон водной поверхности 1,05 ‰.

Размах уровня воды р.Чёрной составляет 320 см, средняя годовая амплитуда 140 см.

Т а б л и ц а 4. Характерные уровни воды.

водомер- ный пост	отметка нуля графика поста, м БС-77	уровень воды, _____ см БС-77 см над нулем графика поста					размах уровня воды, см
		средний годовой	наиболь- ший	дата	наи- мень- ший	дата	
с.Хмель- ницкое	14,49	$\frac{1546}{97}$	$\frac{1772}{323}$	17 дек. 1955 г.	прсх., 3,8 % *	1954 – 1955 гг.	323
г.Севасто- поль	– 5,0	$\frac{-21}{479}$	$\frac{29}{529}$	18 июля 1941 г.	$\frac{-72}{428}$	13 нояб. 1920 г.	101

П р и м е ч а н и е : * – в процентах приводится повторяемость пересыхания реки за период зарегулированного режима стока.

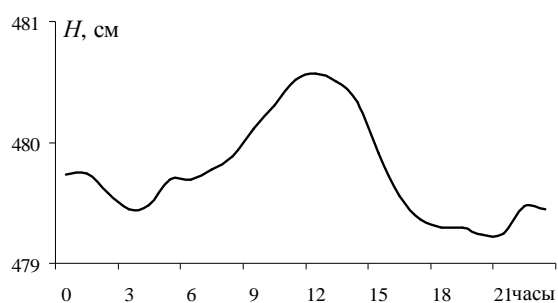
Изменения уровня воды у с.Хмельницкое соответствует изменению стока воды, средний годовой уровень значимых тенденций не имеет.

На устьевом взморье р.Чёрная, в Севастопольской бухте, ход уровня воды идентичен ходу среднего уровня Чёрного моря, т.к. зависит, в основном, от уровня моря. Размах среднего годового уровня в г.Севастополе в пределах 30 см, в среднем межгодовые колебания уровня не превышают 10 см. Средний годовой уровень воды на водпосту в г.Севастополе имеет значимые тенденции, в период с 1961 по 2007 г. он увеличивается со скоростью 0,16 см в год, что вероятно связано с эвстатическим повышением уровня Чёрного моря.

Размах сезонного хода уровня в среднем составляет 20 см. Наибольший уровень воды отмечается в мае – июне, наименьший – в октябре – ноябре. В период паводков на р.Чёрной (с декабря по апрель) наблюдается наибольшая изменчивость уровня воды, что подтверждают наибольшие значения СКО уровня в этот период в реке и в бухте.

Средний суточный размах уровня на устьевом взморье около 2 см (рис.4). По данным многолетних наблюдений он изменялся в пределах 2 – 25 см. Чаще всего суточный максимум уровня воды на устьевом взморье р.Чёрной отмечается в 12 – 13 час, минимум – в 20 – 21 час.

Кратковременные колебания уровня воды (сгонно-нагонного и сейшевого характера) в Севастополе в среднем составляют 10 – 20 см, максимальные



Р и с . 4 . Многолетний средний суточный ход уровня воды на устьевом взморье р.Чёрной.

могут достигать 30 – 40 см. По данным гидрометеорологических наблюдений на посту (в 1938 г.) в течение получаса в результате сейши (или землетрясения) уровень воды колебался в пределах 1 м.

В отличие от распределения расхода воды в вершине устьевой области реки (рис.3) функция распределения сред-

них месячных значений уровня воды в Севастопольской бухте может быть аппроксимирована нормальным законом распределения.

Течения на устьевом участке реки изучены недостаточно. Здесь они носят стоковый характер, т.к. зависят, в основном, от расхода воды. Как и в других устьевых областях рек, в этой части устьевой области р.Чёрной преобладает однонаправленный поток в бухту (прямой). Он имеет среднюю скорость 0,2 м/с, пределы изменения скорости течения 0,04 – 2,5 м/с.

Совместный анализ внутрисуточной изменчивости уровня воды, направления ветра и течений на устьевом взморье [5, 7] свидетельствует в пользу гипотезы о бризовой обусловленности циркуляции воды в Севастопольской бухте в большую часть года (с марта – апреля по октябрь – ноябрь). Бризовая составляющая здесь, в связи с орографическими особенностями долины р.Чёрной, усиливается горно-долинными и склоновыми ветрами. В дневные часы ветер направлен с моря на сушу, способствуя подпору воды в бухте и развитию в поверхностном слое обратного (к реке) потока, уровень воды повышается. Вечером и ночью ветер дует с суши, поток в поверхностном слое направлен из бухты в море, уровень воды понижается (рис.4). В придонном слое формируются противотечения. При слабых и умеренных ветрах постоянный сток р.Чёрной способствует преобладанию в поверхностном слое воды течений прямого направления. Такая установившаяся циркуляция, обусловленная суточным ходом метеорологических характеристик и стоком р.Чёрной, нарушается в отдельные синоптические периоды, когда развиваются сгонно-нагонные явления, в период паводков и штормов.

На устьевом взморье иногда формируются продольные циркуляции, аналогичные сейшевым. Причиной этого является уклон водной поверхности и стоковые течения. В поверхностном слое воды преобладает прямой поток (к морю), в придонном – обратный (к реке). При сгоне уровень воды у наветренного берега увеличивается, пропускная способность пролива (искусственно суженного молами почти вдвое), соединяющего взморье с прилегающей частью моря, не позволяет водной массе взморья достаточно быстро перемещаться в море, в придонном слое возникает градиентное течение, направленное к реке, формируется компенсационный поток.

Как показал анализ многолетних наблюдений МО УкрНИГМИ в Севастопольской бухте, наибольшие изменения в схему течений на устьевом взморье вносят нагонные ветры. Под их воздействием сначала уменьшаются стоковые течения, особенно в поверхностном слое, затем, по мере усиления ветра, развиваются дрейфовые течения и формируется нагон воды, приводящий к перекосу уровня и возникновению градиентных течений. При сильном нагонном ветре может отмечаться однонаправленный обратный поток по всему объёму бухты. При перестройке структуры течений в проливе иногда наблюдался трёхслойный разнонаправленный поток. Поперечные или «винтовые» циркуляции могут возникать при воздействии ветров, направленных поперёк бухты.

Характеристика течений и упрощённые схемы преобладающих течений в устьевой области р.Чёрной более подробно представлены в [5, 7].

Средняя скорость течения в бухте около 0,09 м/с, по натурным данным она изменяется в пределах 0,02 – 0,70 м/с. Преобладает суточная изменчивость направления течений.

Мутность воды и сток наносов. Содержание в воде взвешенных наносов характеризуется мутностью, которая является важнейшим экологическим параметром, определяющим биохимические процессы в водной среде, а, следовательно, биоразнообразие водной экосистемы. Знания о мутности воды необходимы для расчёта стока и баланса наносов в устьевых областях рек, проектирования водоснабжения, оросительных систем, судовых ходов и др.

В морском устье р. Чёрной мутность воды систематически не определяется. У с. Хмельницкое эпизодически отбирались пробы воды на мутность (ЦГМ в АРК); в Севастопольской бухте производились наблюдения за прозрачностью и цветностью воды, которые зависят от содержания в воде взвешенных наносов (МО УкрНИГМИ, МГИ), и определялась концентрация взвешенных веществ (МГИ).

Средняя годовая мутность воды р. Чёрной у с. Хмельницкое изменяется в пределах $5 - 45 \text{ г/м}^3$, отклоняясь от среднего многолетнего значения, равного 24 г/м^3 , в пределах $\pm 54 \%$. Средняя месячная и средняя суточная мутность речной воды изменяется в более широком диапазоне: средняя месячная – в пределах $1 - 250 \text{ г/м}^3$, средняя суточная – от 1 до 11000 г/м^3 . Средняя мутность воды р. Чёрной незначительная по сравнению с мутностью других рек (она почти в 5 раз меньше мутности воды рек Дунай, Бельбек, Ингулец, Ингул и др.) и близка к мутности р. Днепр.

Вероятно, вода на устьевом участке реки имеет небольшую концентрацию наносов из-за их накопления в Чернореченском водохранилище, значительной урбанизации и зарастания береговой черты, уменьшающих степень эродированности почв.

Незначительная мутность р. Чёрной обусловлена существенной ролью карстового питания в формировании её водного режима (с. Хмельницкое близко расположено к источникам карстовых вод), менее развитой гидрографической сетью верхних притоков (по сравнению, например, с р. Бельбек), меньшей овражностью склонов, плотными известняками, слагающими большую часть водосбора реки. Кроме того, почвы, подверженные эрозии, смываются в верхней части бассейна и наносы аккумулируются в Чернореченском водохранилище, менее всего подвержены эрозии почвы в равнинной части реки. Важным противоэрозионным фактором в бассейне р. Чёрной является довольно большая степень залесённости бассейна.

Внутригодовые изменения мутности потока ρ (г/м^3) в комплексе с расходом воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и наносов R_n (г/с) представлены на рис.5.

Несовпадение изменений во времени мутности, расхода воды и наносов обусловлено особенностями разрушения пород, эрозии почв, перемещения наносов, несовпадением сроков формирования максимального стока, максимального смыва и размыва. Поэтому зависимость между мутностью и расходом воды неоднозначна и носит сложный характер [5].

В вершине устьевой области реки максимум стока воды и наносов, в основном, отмечается одновременно (рис.5). Увеличение стока наносов р. Чёрной (после пика, совпадающего с максимумом стока воды) обычно бывает на стадии спада и в период осенне-зимних паводков. Очевидно, это связано с тем, что на вышерасположенных участках сначала происходит смыв твёрдых частиц с поверхности почвы снеговыми и дождевыми водами

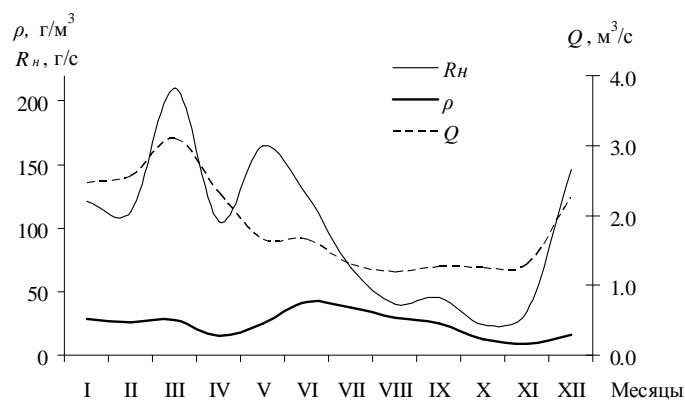


Рис. 5. Особенности сезонного хода мутности (—), расхода воды (----) и наносов (—) р. Чёрной у с. Хмельницкое.

(в результате в вершину устья поступает мутная вода и отмечается первый максимум стока наносов), а затем размывается русло, и наблюдается пик мутности в с. Хмельницком. Максимальный средний месячный расход наносов р. Чёрной наиболее вероятен в марте.

По данным Управления экологии и природных ресурсов в г. Севастополе в воде р. Чёрной от с. Хмельницкое до впадения в Севастопольскую бухту в местах сбросов сточных и промывных вод мутность воды может локально существенно увеличиваться (в районе сбросов промывных вод из гидроузла № 3, сточных вод очистных сооружений пос. Сахарная Головка). Несмотря на то, что концентрация наносов в сточных водах в 3 – 17 раз больше их концентрации в воде р. Чёрной, ниже по течению мутность воды такая же, как и на водпосту с. Хмельницкое, а к нижней границе устьевое участка реки и в Инкерманском лимане она уменьшается в 2 раза, что обусловлено аккумуляцией взвешенных наносов при уменьшении скорости течения. Учитывая, что средний годовой сброс взвешенных веществ с предприятий, расположенных вдоль р. Чёрной, составляет 220 – 460 т/год, вклад этой антропогенной составляющей в формирование мутности воды составляет 15 – 35 %.

Мутность, прозрачность и цвет воды связаны между собой. Чем вода мутнее, тем она менее прозрачная. Средняя многолетняя прозрачность воды увеличивается по направлению к морю с 2,5 м в районах I и II (рис. 1) до 7 м в районе VI, следовательно, мутность воды уменьшается.

Средний годовой расход наносов у с. Хмельницкое составляет 0,10 кг/с, наибольший 0,80, наименьший 0,005 кг/с. Размах расхода наносов равен 0,79 кг/с, а коэффициент внутригодовой неравномерности стока наносов – 160. С каждого км² площади бассейна в год в створ у с. Хмельницкое поступает около 9 т наносов, сток наносов реки составляет 0,003 млн. т/год.

Для расчёта среднего годового расхода наносов в кг/с (R_n) получена статистическая зависимость этой характеристики от среднего годового расхода воды р. Чёрной (Q), имеющая коэффициент корреляции 0,82 и вид

$$R_n = 0,097Q - 0,063. \quad (1)$$

Формула (1) применима в пределах изменения среднего годового расхода воды от 0,74 до 4,70 м³/с и расхода наносов от 0,005 до 0,40 кг/с.

Между средним месячным расходом (стоком) воды и наносов также получена тесная зависимость (коэффициент корреляции которой равен 0,97). Средний месячный расход наносов изменялся в пределах 0,03 – 0,22 кг/с. Наибольший средний суточный расход наносов в устьевой области составлял 230 кг/с.

Температурный режим в различных частях устьевой области р. Чёрной неодинаков.

На устьевом участке реки температурный режим близок к речному. Сезонный ход температуры воды с некоторым запаздыванием повторяет изменения температуры воздуха. Однако, температура воды обычно ниже 0°C не опускается. Благодаря турбулентному обмену распределение температуры по глубине потока довольно однородное, как и распределение температуры воды вдоль устьевого участка реки.

В бухте происходит смешение разнородных по температуре речных и морских вод, поэтому здесь формируются поля температуры с наибольшей горизонтальной и вертикальной изменчивостью (по сравнению с рекой и морем). В период нагревания температура воды в бухте уменьшается по направлению к морю, в период охлаждения – увеличивается. Ветровое перемешивание охватывает поверхностный слой воды и способствует выравниванию значений всех характеристик, в том числе и температуры. Сезонные колебания температуры уменьшаются с глубиной.

Значимых тенденций температуры воды (как и воздуха) за период с 1961 по 2007 гг. не обнаружено. В морском устье реки обычно средний размах суточного хода температуры воды в поверхностном слое весной и летом (при отсутствии сгонов и нагонов) составляет 1,2 °С, в придонном 1 °С. Осенью и зимой суточный размах, как на поверхности, так и у дна менее 1 °С. Максимум температуры в поверхностном слое отмечается в 12 – 18, минимум – в 5 – 9 часов (в зависимости от времени года, погодных условий, глубины и проточности на участке измерений). При адвекции воды и тепла из различных частей устьевой области реки суточный размах температуры воды может увеличиваться до 3 °С и более.

Обычно годовой максимум температуры воды отмечается в августе, минимум – в феврале.

Средняя годовая температура воды поверхностного слоя устьевого взморья р. Чёрной составляет 14,5 °С, придонного 12,4 °С, средняя по объёму бухты – около 14 °С. СКО 0,7 °С, C_v – 0,05, размах межгодовых изменений 2,8 °С, наибольшая температура воды 27,6; наименьшая 2,8 °С. Контраст температуры воды (по горизонтали) в среднем по отдельным сезонам 1– 4 °С. Летом вертикальные градиенты температуры – наибольшие. В безветренную погоду, в условиях слабого перемешивания, развивается выраженная температурная стратификация вод. Разность между температурой воды поверхностного и придонного слоёв может достигать 10 – 12 °С. Средний параметр температурной стратификации, рассчитанный как отношение среднего градиента температуры «поверхность – дно» к средней температуре воды устьевого взморья, равен 0,15.

Наиболее тёплые воды располагаются в зоне влияния выпуска теплоэлектростанции в восточной части бухты, где средняя годовая температура

поверхностного слоя достигает 15,0 °С (у дна – 14,2 °С). В открытых частях бухты средняя годовая температура поверхностного слоя воды изменяется в пределах 14,5 – 14,9 °С, в придонном слое – от 11,9 (в Южной бухте) до 13,0 °С (в центральной части Севастопольской бухты).

Вода р.Чёрной в среднем на 2,5 °С холоднее, чем поверхностного слоя бухты. Пониженная по сравнению с Севастопольской бухтой температура воды этой реки обусловлена влиянием питающих её крупных карстовых источников с низкой температурой воды, а также адвекцией более холодной воды, поступающей с горных участков водосбора. Поэтому большую часть года вода р.Чёрной охлаждает устьевое взморье. Только в период интенсивного прогрева (в апреле и мае) температура воды реки равна температуре поверхности взморья и даже может её превышать.

Так как температура воды в устьевой области реки обусловлена температурой воздуха, связь между средними годовыми значениями этих величин имеет коэффициент корреляции, равный 0,91. В то же время, различия в теплоспасе водной массы и условиях перемешивания отражаются на виде зависимости средней месячной температуры воды от температуры воздуха $T_w = f(T_a)$. На устьевом взморье р.Чёрной (г.Севастополь) выражена фаза нагрева (нижняя ветвь кривой) и охлаждения (верхняя ветвь кривой), график имеет петлеобразный характер; на устьевом участке реки – зависимость однозначная (рис.6). От глубины в месте измерения температуры воды и перемешивания зависит теплоспас водной массы и скорость её реакции на изменения температуры воздуха. Поэтому для р.Чёрной у с.Хмельницкое (где температура воды измеряется на проточном мелководном участке) зависимость $T_w = f(T_a)$ прямолинейная (рис.6).

Среднемесячные и средние годовые значения стока тепла в вершине устьевой области реки представлены в табл.5. Максимум стока тепла (в апреле) наступает позже максимума стока воды (в марте), т.к. от марта к апрелю речная вода прогревается на 57 %, сток воды между этими месяцами уменьшается всего на 12 %. Внутригодовое регулирование стока воды р.Чёрной способствуют равномерному распределению стока тепла р.Чёрной внутри года.

Межгодовая изменчивость годового стока тепла в современный период лежит в пределах 40 % от среднеегодового значения. Значимых тенденций сток тепла в вершине устьевой области реки с 1961 по 2007 г. не имеет.

Влияние стока тепла на устьевое взморье характеризуется удельным стоком тепла, показывающим сколько тепловой энергии реки приходится на

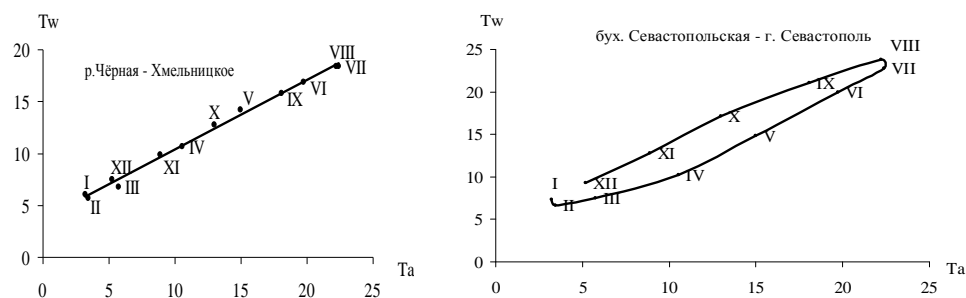


Рис. 6. Зависимость средней месячной температуры воды от температуры воздуха в устьевой области р.Чёрной.

Т а б л и ц а 5. Сток тепла р.Чёрной у с.Хмельницкое за 1961 – 2007 гг. в 10^{15} Дж.

месяц												год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
0,16	0,17	0,23	0,31	0,25	0,27	0,24	0,24	0,20	0,18	0,14	0,15	2,53

1 км² устьевого взморья. В среднем эта величина равна $0,1 \cdot 10^{15}$ Дж/км².

Средний теплозапас Севастопольской бухты оценивается в $5,83 \cdot 10^{15}$ Дж, что более чем в 2 раза превышает средний многолетний сток тепла р.Чёрной (табл.5).

Солёность и минерализация воды. По данным наблюдений на посту Севастополь средняя многолетняя солёность Севастопольской бухты (в центральной части) составляет 17,9 ‰, средняя месячная изменяется в пределах 17,8 – 18,0 ‰, СКО средней месячной солёности воды равно 0,21 – 0,33 ‰, C_v 0,01 – 0,02.

Солёность поверхностного слоя воды в среднем отличается от придонной на 0,3 ‰, C_v солёности по глубине изменяется в пределах 0,05 – 0,07.

Количественной оценкой типа солёностной (плотностной) стратификации может служить параметр стратификации, показывающий, на сколько градиент солёности (между поверхностью и дном) отличается от средней солёности водного объекта. На устьевом взморье р.Чёрной преобладает однородная водная масса, стратификация которой оценивается параметром, равным 0,02. По сравнению с параметрами стратификации солёности на устьевых взморьях других рек (р.Днепр 1,1, р.Юж.Буг 0,8, р.Дунай 0,4, р.Бельбек 0,04) в Севастопольской бухте он имеет наименьшее значение.

Незначительный сток воды и минеральных веществ р.Чёрной не вызывают существенных изменений средней месячной солёности воды устьевого взморья, поэтому годовой ход солёности почти не выражен; колебания средней месячной солёности воды – в пределах точности определения и расчёта. Максимальная средняя месячная солёность отмечается в марте и ноябре, что соответствует максимумам солёности в прилегающем районе Чёрного моря.

Хотя средняя месячная солёность в Севастопольской бухте на посту Севастополь изменяется в небольших пределах и получить её зависимость от стока р.Чёрной затруднительно, анализ срочных данных наблюдений в открытой, центральной части бухты (не говоря уже о вершине бухты и Инкерманском лимане) показал, что имеется тесная эмпирическая зависимость между средним суточным расходом р.Чёрной и солёностью воды в бухте [7, 8]. Такая зависимость имеет вид

$$S = -0,348Q + 18,22 \quad (2)$$

и может быть использована в диапазоне Q 0,06 – 30 м³/с; S 6,87 – 19,7 ‰. Здесь S – солёность воды поверхностного слоя центральной части Севастопольской бухты, ‰; Q – средний суточный расход воды р.Чёрной у с.Хмельницкое с учётом времени добегаания, м³/с.

Это свидетельствует о том, что опресняющее влияние реки в большей степени сказывается вдоль оси приёмного водоёма (Севастопольской бухты) и при малом стоке может не распространяться в прибрежную зону, где расположен водпост Севастополь. В поверхностном слое Севастопольской

Таблица 6. Концентрация главных ионов и их сумма в воде р.Чёрной.

концентрация, мг/дм ³	$\Sigma_{и}$	<i>Cl</i>	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
средняя	435	22,7	64,7	68,2	12,6
минимум	280	5,4	8,0	14,8	1,9
максимум	966	73,0	300	144	51,3

бухты наиболее распределённые воды расположены в примыкающих к устьевому участку реки частях устьевого взморья. Более пресная вода (по сравнению с глубоководьем) в отдельных частях прибрежной зоны бухты свидетельствует в

пользу распределяющего воздействия берегового стока, влияния сбросов сточных и ливневых вод. Размах изменения солёности воды в пространстве бухты в среднем не превышает 1 ‰.

На режим минерализации реки оказывает влияние зарегулированность речного стока, карстовое и грунтовое питание, а также сбросы воды с сельскохозяйственных угодий. Речная вода является среднеминерализованной, гидрокарбонатно-кальциевого типа, её химический состав представлен в табл.6. На устьевом участке реки минерализация воды, в основном, увеличивается по направлению к взморью. Сумма главных ионов ($\Sigma_{и}$) в среднем не превышает ПДК.

Анализ литературных источников и собственные расчёты показали, что по сравнению с более ранними наблюдениями, выполненными в период, когда сток реки был не зарегулирован (до 1954 г.), в настоящее время средняя минерализация воды устьевого участка реки увеличилась. При этом произошло не только повышение минерализации, но и изменение соотношения главных ионов. В р.Чёрной увеличилось содержание сульфатов.

В последние 25 – 30 лет значимых тенденций в изменении минерализации воды устьевого участка реки не обнаружено.

В межень гидрокарбонатно-кальциевый тип воды изменяется в сторону сульфатно-натриевого. Это обусловлено сезонными особенностями формирования химического состава русловых вод: в паводки преобладают почвенно-поверхностные воды, гидрокарбонатно-кальциевые, в межень – грунтовые, карстовые, почвенно-грунтовые в смеси со сбросными и дренажными водами. Между с.Хмельницким и нижней границей устьевого участка реки сумма главных ионов увеличивается в среднем в 3 раза из-за сбросов очистных сооружений п. Сахарная Головка и других сбросов сточных вод, а также, возможно, из-за нагонов распределянной лиманной воды на устьевой участок реки и значительного испарения. Концентрация карбонатов и кальция на этом участке уменьшается, а сульфатов, хлоридов и магния возрастает в 3; 27 и 9 раз соответственно.

Особенности внутригодового распределения суммы ионов у с.Хмельницкое показаны на рис.7. Здесь максимумы стока воды, минерализации и стока главных ионов совпадают.

Средний многолетний сток главных ионов составляет 25,0 тыс. т. Анализ внутригодовой изменчивости стока главных ионов показал, что основная масса растворённых минеральных веществ поступает на устьевое взморье в период повышенной водоносности реки. С июня по октябрь сток главных ионов мало изменчив и в среднем остаётся постоянным, с ноября начинает

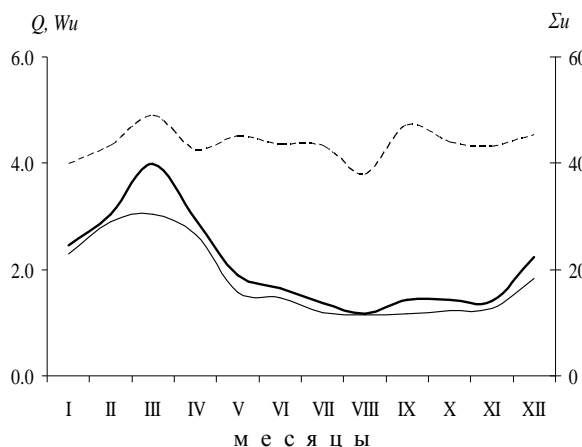


Рис. 7. Внутригодовые изменения расхода воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) (—), стока главных ионов W_u (тыс. т) (—) и минерализации Σ_u ($\text{мг}/\text{дм}^3$) (- -).

увеличиваться. В среднем за многолетний период с 1 км^2 водосбора в р. Чёрную поступает $58,5 \text{ т}$ главных ионов в год (больше, чем в р. Днепр и р. Юж. Буг, но меньше, чем в р. Дунай и р. Бельбек [5]).

Зависимость средних месячных значений стока ионов W_u (тыс. т) от среднего месячного расхода воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) у с. Хмельницкое имеет вид и коэффициент корреляции $0,97$:

$$W_u = 1,17Q - 0,04. \quad (3)$$

Использовать данную

формулу для расчёта среднего месячного стока главных ионов можно при изменении среднего месячного расхода воды в пределах $0,50 - 4,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Ледовые условия. В морском устье р. Чёрной наблюдения за ледовыми явлениями не выполняются из-за их отсутствия в большинстве ледовых сезонов, поэтому особенности ледообразования, ледотаяния и других процессов здесь недостаточно изучены. Ледовые явления в устьевой области реки бывают 1 раз в 15 – 20 лет и не представляют опасности для хозяйства региона.

В заметном количестве лёд появлялся в этом морском устье в 1906 – 1907, 1910 – 1911, 1919 – 1920, 1926 – 1927, 1928 – 1929, 1931 – 1932, 1939 – 1940, 1946 – 1947, 1948 – 1949, 1953 – 1954, 1984 – 1985, 2005 – 2006 гг. Этому способствовало вторжение холодной воздушной массы и продолжительное её стояние (в течение 8 – 10 дней). При этом минимальная температура воздуха была ниже -20°C . Ранее, по архивным данным, ледяные образования в Севастопольской бухте отмечались в 1825 – 1826, 1827 – 1828, 1832 – 1833, 1833 – 1834, 1835 – 1836, 1837 – 1838, 1863 – 1864, 1875 – 1876, 1893 – 1894, 1895 – 1896 гг. Очевидно, ледовые условия в устьевой области реки в рассматриваемый период (1961 – 2007 гг.) более мягкие, чем были раньше. В основном лёд образуется в конце января или в феврале, реже – в начале марта или в декабре. Средняя продолжительность ледовых явлений составляет 1 – 3, максимальная 10 – 15 суток.

Для устьевого взморья характерно появление первичных форм льда (шуги), из которого затем образуется нилас, трансформирующийся в блинчатый лёд. Примерно в 12 % ледовых сезонов неподвижный лёд в виде заберегов и ниласа появлялся на несколько суток в прибрежных мелководных участках устьевого взморья, например, в вершине Южной бухты, Килен-бухты, Северной и Артиллерийской бухтах. Наблюдались и другие формы льда.

На устьевом участке реки максимальная продолжительность ледовых явлений достигала 10 суток.

Единичные наблюдения за толщиной льда в морском устье дают только приближённое представление о ледяном покрове. Наибольшая толщина льда, измеренная в данном регионе, достигала 15 см, обычно же она состав-

ляет 1 – 3 см. По имеющимся немногочисленным данным наиболее ледовитыми районами являются более распреснённые и мелководные части взморья, участки водотока со слабым течением. Обычно образуется тонкий блинчатый лёд вдоль берега Северной бухты от Голландии до Павловского мыса. В суровые зимы отдельные льдины могут наблюдаться в Южной бухте (между Графской пристанью и Павловским мысом). Иногда лёд отмечается в Артиллерийской бухте у берега, в верховье Южной бухты. Его толщина обычно не превышала 2 – 3 см, в отдельные зимы до 5 – 10 см. Незначительные количества льда отмечаются при поздних похолоданиях не только в суровые, но и умеренные зимы, особенно в восточной части Севастопольской бухты. В конце января 1911 г. замерзла южная часть Южной бухты, в результате чего отмечались заморы рыбы. Забереги и нилас толщиной 1 – 1,5 см в Южной бухте зафиксированы в феврале 1945 г., январе и декабре 1946 г. В январе 1947 г. замерзала Килен-бухта и Северная бухта от Голландии до ГРЭС (припай располагался вдоль берега); в Южной бухте лёд был в виде шуги и сплочённого блинчатого льда, а в феврале образовался нилас. У Аполлоновой балки и в Артиллерийской бухте наблюдались забереги. При усилении морозов ширина заберегов увеличилась до 100 м, толщина льда достигала 10 см. Нилас и блинчатый лёд в бухте наблюдались и в 2006 г., в это время на устьевом участке реки отмечались забереги.

Волнение. Сведения о режиме волнения на устьевом взморье р. Чёрная ограничены, так как наблюдения в Севастопольской бухте прекращены с 1985 г. Для этого района наиболее волноопасными являются северо-западное и западное направление ветра. Анализ климатических условий показал, что в среднем 27 раз в год бывает западный ветер, а наиболее волноопасный, но наименее продолжительный и наименее устойчивый северо-западный ветер отмечается в среднем 3 – 4 раза в месяц. В 70 % случаев над акваторией взморья преобладает ветер переменных направлений скоростью 1 – 5 м/с, при этих условиях формируется поле волнения (рис.8).

Размеры бухты, расположение и стеснённость её входа молами препятствуют значительному волнообразованию и распространению крупных морских волн и зыби. Поэтому ветровое волнение здесь не существенное.

В холодный период года (обычно с ноября по март) довольно часто бывают северо-восточные, восточные или юго-западные шторма, способные развить штормовое волнение. Но при этих направлениях ветра разгоны волн



Р и с . 8. Волнение (м) на устьевом взморье р. Чёрная при средних гидрометеорологических условиях.

в бухте небольшие, поэтому высота волны (по сравнению с открытой частью моря) небольшая, 1 – 1,5 м. Штормовое волнение в бухте имеет среднюю повторяемость в году около 1 %. Значительные шторма волноопасных для бухты направлений имеют повторяемость 0,1 – 0,3 %. При них высота волны превышает 1 м. Наибольшую повторяемость (примерно одинаковую по 17 %) имеет волнение северо-восточного, южного и восточного направлений.

Преобладание береговых ветров (восточного и северо-восточного) не вызывает сильного волнения, поэтому в бухте высота волн обычно не превышает 0,25 м (рис.8). В прибрежной части взморья штиль и небольшое волнение имеет среднюю за год повторяемость 89 % (на 5 – 6 % больше, чем было до сооружения молв и массовой застройки городской территории). Повторяемость волнения в диапазоне 0,75 – 1,25 м, напротив, уменьшилась на 3 – 4 % и составляет в настоящее время 0,65 %.

Внутригодовой ход волнения и его многолетняя изменчивость соответствует изменчивости ветра: наибольшее волнение чаще всего отмечается в холодный период года, с декабря по март, минимальное – в июне – июле.

В рассматриваемый климатический период (с 1961 по 2007 г.) повторяемость штормового волнения уменьшается в среднем на 0,5 – 0,7 % в год. Эта тенденция связана с уменьшением скорости ветра и, возможно, со строительством волнозащитных сооружений.

Заключение. В работе на основе анализа имеющейся совокупности наблюдений и измерений впервые определена структура устьевой области р.Чёрной, включающая устьевой участок реки и трёхкомпонентное устьевое взморье – Инкерманский лиман, Севастопольскую бухту, прилегающую к ней акваторию моря.

Определены ориентировочно границы устьевой области р.Чёрной.

При районировании морского устья выделено 6 характерных районов, имеющих отличия гидрологического режима (рис.1), обусловленные особенностями адвекции, перемешивания и глубиной.

Установлено, что в рассматриваемом районе микроклимат формируется под влиянием моря, Крымских гор и города.

Дана количественная оценка режимных геофизических характеристик морского устья за современный климатический период (1961 – 2007 гг.), получены нормы и пределы изменений параметров, проанализированы многолетние тенденции.

Анализ стока воды в вершине устьевой области реки показал, что многолетняя тенденция в его изменениях отсутствует, а зарегулирование стока способствовало более равномерному его распределению в течение года.

Несмотря на то, что средний многолетний годовой сток р.Чёрной ($0,058 \text{ км}^3$) почти в 2 раза меньше объёма Севастопольской бухты, он оказывает распресняющее и охлаждающее влияние на устьевое взморье.

Впервые рассчитан сток тепла, главных ионов, наносов и теплозапас бухты в современный период.

Получены зависимости, позволяющие рассчитывать сток наносов, солёность поверхностного слоя воды и сток ионов по расходу р.Чёрной.

Дана количественная оценка изменчивости уровня воды различной дискретности, предложена гипотеза о связи короткопериодных изменений

уровня, течений и солёности воды с бризами.

Впервые представлены сведения о ледовом режиме устьевой области реки и волнении на устьевом взморье.

Геофизическая характеристика устьевой области р.Чёрной, подготовленная на основе данных Государственного водного кадастра и приведенная в данной работе, может быть использована для решения практических задач: подготовки ОВОС, экспертиз, нормирования хозяйственной деятельности, лимитирования выбросов и сбросов загрязняющих веществ, прогнозирования режима морского устья, разработки практических мер по охране и восстановлению природной среды севастопольского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короновский Н.В., Якушова А.Ф.* Основы геологии.– М.: Высшая школа, 1991.– 416 с.
2. *Щукин Е.С.* Общая геоморфология.– М.: Изд-во Московского университета, 1974.– 384 с.
3. *Атлас охраны природы Чёрного моря.*– С.-Пб.: ЦКФ ВМФ, Главное Управление навигации и океанографии России, 2006.– 435 с.
4. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т.4. Чёрное море.*– Л.: Гидрометеиздат, 1986.– 100 с.
5. *Иванов В.А., Миньковская Р.Я.* Морские устья рек Украины и устьевые процессы.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– 806 с.
6. *Львович М.И.* Реки СССР.– М.: Мысль, 1971.– 352 с.
7. *Миньковская Р.Я.* Преобладающие течения в устьевых областях рек Дунай, Бельбек, Чёрная, Днепр и Южный Буг // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.15.– С.194-203.
8. *Миньковская Р.Я., Рябинин А.И., Демидов А.Н.* Результаты государственного мониторинга главных элементов биогенного цикла в воде Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007.– вып.15.– С.66-73.

Материал поступил в редакцию 28.04.2008 г.
После доработки 27.11.2008 г.