

УДК [581.526.3:574.68](282.243.7.05)

Т. Н. Дьяченко<sup>1</sup>, О. В. Томченко<sup>2</sup>**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ЗАРАСТАНИЯ ВОДНЫХ  
ОБЪЕКТОВ КИЛИЙСКОЙ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ НА  
ОСНОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ  
СЪЕМКИ\***

С помощью данных дистанционного зондирования Земли рассмотрены изменения площади разнотипных водных объектов Килийской дельты, плавневой и водной растительности морских заливов и внутридельтовых водоемов за 30-летний период (1985—2015 гг.) на фоне сокращения и перераспределения стока по Килийскому рукаву Дуная.

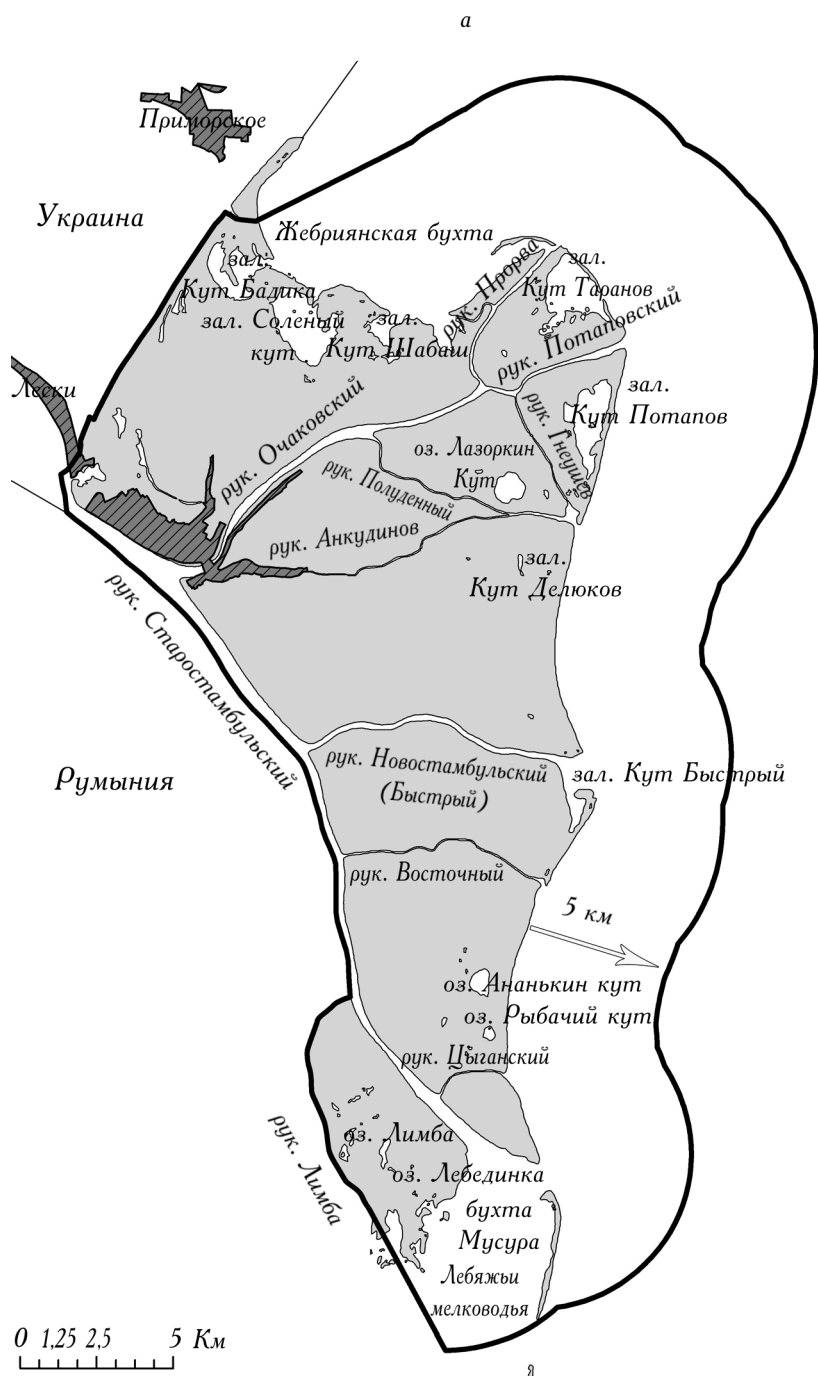
*Ключевые слова:* Килийская дельта Дуная, дистанционное зондирование Земли, площадь водных объектов, плавневая и водная растительность.

Морская дельта Килийского рукава Дуная — самая молодая, активная и динамичная часть дунайской дельты, представляющая собой экотонную систему между второй по величине рекой Европы и Черным морем. Благоприятные природные условия, взаимодействие реки и моря, умеренное антропогенное воздействие создали огромное разнообразие биотопов, населенных различными видами растений и животных, обеспечивающих биологическую продуктивность, сравнимую с тропическими лесами и коралловыми рифами. Это плавнево-литоральный ландшафт, состоящий из ряда разделенных рукавами островов разной площади, морских кос и приморских песчаных грив. Большую часть островов занимают плавневые массивы тростника с болотным разнотравьем, переходящие вдоль рукавов, озер и заливов в его водные сообщества. Повышенные участки островов и прирусловые гряды заняты древесно-кустарниковой и луговой растительностью. Аквально-плавневую часть ландшафта составляют морские заливы, внутридельтовые озера, рукава разного порядка, протоки, рукотворные каналы и ерики. Особенности их зарастания, структуры, распределения и функционирования водных и плавневых биогеоценозов определяются, в основном, гидрологическими процессами и антропогенными факторами [1, 4, 7, 12, 13].

Цель наших исследований состояла в изучении динамики площадей основных элементов гидрографической сети Килийской дельты Дуная (КДД) в связи с сокращением стока по Килийскому рукаву и усилением процессов

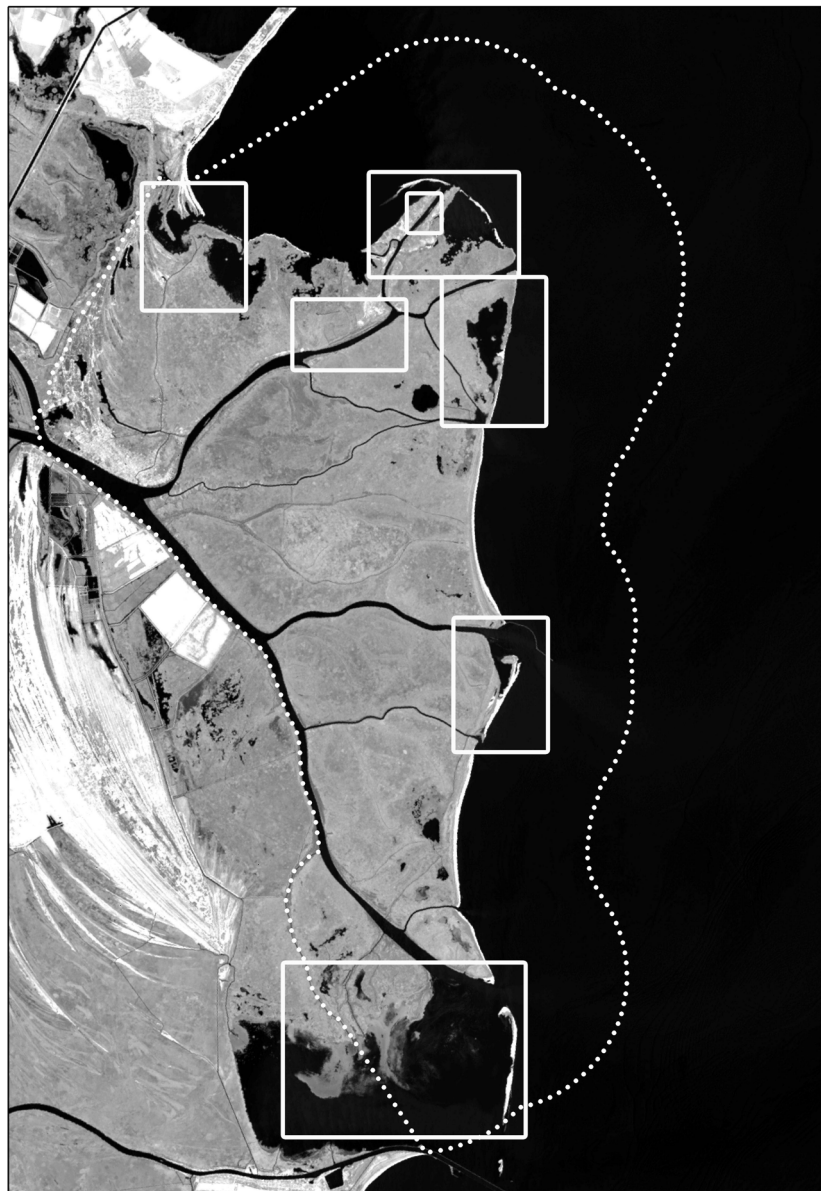
\* Исследования поддержаны Программой развития приоритетных направлений научных исследований НАН Украины на 2018 г.

© Т. Н. Дьяченко, О. В. Томченко, 2018



зарастания. Рассматривалось изменение площади дельты, водоемов (крупных внутрдельтовых озер и морских заток), водотоков (системы Очаковского и Старостамбульского рукавов), плавневой и водной растительности за последние 30 лет.

б



↑  
↙ 1. Территория исследования в КДД: *a* — на гидрографической карте; *б* — на космическом снимке Landsat 8 за 2015 г. с участками наиболее динамичных изменений.

**Материал и методика исследований.** Образование КДД датируется серединой XVIII в. На картах второй половины XVIII—XX веков видно, что в 1770 г. Килийский рукав впадал в море у с. Липованское (ныне г. Вилково), в 1775 г. ниже Вилково уже отмечался один остров, а в 1800 г. таких островов было семь. За период с 1830 по 1957 г. площадь дельты выросла с 79 до

328 км<sup>2</sup> [6]. К началу 1990-х годов она составила 354 км<sup>2</sup>, а к 2002 г. — 358 км<sup>2</sup>. Дельта вытянулась на юг (по Старостамбульскому рукаву) на 24,9 км и на восток (по Очаковскому) — на 17,8 км [7].

Водный сток по Килийскому рукаву неуклонно сокращается — от 62,5% в 1960-е годы до 56,2% в 1990-е и до 52% в 2003 г. По прогнозам, к 2020 г. он составит всего 47% стока Дуная в вершине дельты [10]. В связи с сокращением стока и его перераспределением внутри Килийского рукава наблюдается более быстрое заиление и зарастание не только мелких, но и ряда крупных водотоков, особенно ясно выраженное в системе Очаковского рукава. Уменьшается количество устьев рукавов и, следовательно, возможность образования новых заливов. В 1990-е годы начался интенсивный размыв морского края северо-восточной части дельты. Из продуктов размыва строятся косы, отделяющие от моря солоноватоводные заливы в северной части дельты. В то же время в южной и юго-восточной частях отмечается выдвигание дельты в море и выравнивание ее морского края [5]. Сокращение стока активизирует процессы зарастания, ускоряет растительные сукцессии, изменяет флористическое и ценотическое богатство водных макрофитов, функциональные особенности их сообществ [1, 4, 12, 13].

При изучении динамики значительных по площади природных образований, в том числе составляющих плавнево-литорального ландшафта, наиболее информативны данные дистанционного зондирования Земли, поскольку позволяют не только обследовать большие площади, но и «охватывают и каждую подробность и всю местность в целом, анализируя и синтезируя одновременно» [9]. В данном случае для проведения ретроспективного анализа были использованы результаты дешифровки находящихся в свободном пользовании космических снимков КДД за конец июля — начало августа 1985 и 2015 гг., полученных со спутника NASA «Landsat» 5, 8. Обследовалась территория морской дельты Килийского рукава, ограниченная дорогой Приморское — Вилково, правым берегом рукавов Старостамбульского и Лимба с учетом буфера по морю на расстоянии 5 км от берегового края дельты. Общая площадь исследуемой территории составляла около 600,75 км<sup>2</sup> (рис. 1). Выбор материалов данного спутника объясняется наличием большого ретроспективного ряда, несмотря на то, что летает он реже спутника Европейского Союза «Sentinel», имеет меньшее количество спектральных диапазонов и меньшую разрешающую способность снимков. Для классификации объектов применялся классификатор, построенный на искусственных нейронных сетях. Распознавание выполнялось с использованием модели нейронной сети многослойный перцептрон, входными признаками в который были данные спектральных каналов и значения нормализованного вегетационного и нормализованного водного индексов. В качестве дешифровочных признаков использовались спектральные образы объектов, при этом разделение заданных классов производилось на основании вычленения различных типов спектральной яркости отражающих поверхностей [8, 14]. Низкая разрешающая способность снимков (30 м/пиксель) позволила выделить растительность лишь двух экологических групп — плавневую (под которой понимаются тростниково-осоковые сообщества и водные ценозы тростника, рогоза и ежеголовника) и с плавающими листьями. Этим же объясняется невозможность определить площади зарастания в водотоках и несовпадение площадей водоемов и заросших площадей, приводимых

**1. Площади (км<sup>2</sup>) изучаемых объектов в разные годы исследований**

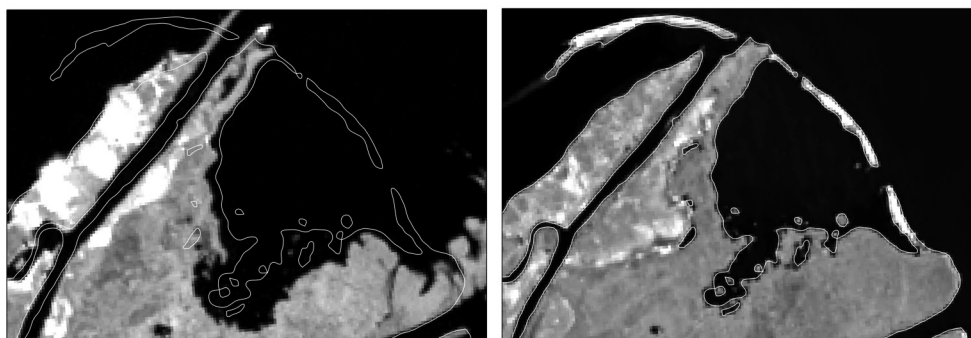
Водные объекты	1985 г.	2015 г.	Изменения
Дельта	320,21	326,93	+ 6,72
Заливы	25,95	19,45	-6,50
Внутрдельтовые водоемы	6,04	8,70	+ 2,66
Водотоки системы Очаковского рукава	16,00	10,80	-5,20
Водотоки системы Старостамбульского рукава	12,58	10,10	-2,48

в данной работе и полученных во время непосредственных исследований на водоемах в 1990-е годы [2]. Возможно, что использование комбинации нескольких индексов (вегетационного, мутности) и значений теплового канала в дальнейшем позволит выделять на снимках заросли погруженных видов. Водная растительность описана традиционными методами, применяемыми в гидробиологии [3].

***Результаты исследований и их обсуждение***

Результаты обработки и дешифрирования снимков приведены в таблице 1, из которой видно, что за 30 лет, несмотря на процессы размыва, продолжающиеся в северо-восточной части КДД, ее площадь увеличилась на 6,72 км<sup>2</sup>. Продукты размыва береговой линии переносятся в северную часть дельты, из них достраиваются косы, изолирующие от моря солоноватоводные заливы (Соленый, Шабаш, Таранов), и намываются новые (коса в устье рукавов Прорва и Потаповский) (рис. 2). В районе кута Бадика дельта выдвинулась в акваторию Жебриянской бухты на 0,4—0,57 км, образовались новые небольшие по площади заливы Бадика-3, -4, -5 (рис. 3). Вдоль всего восточного берега намылись песчаные пляжи шириной 0,2—0,8 км. Между рукавами Быстрый и Восточный образовался новый залив (кут Быстрый), южная и центральная части которого уже заросли плавневой и древесно-кустарниковой растительностью. За 15—16 лет здесь можно было проследить все стадии растительных сукцессий и зарастания залива: от незаросшей части морской акватории до образования отдельных группировок погруженных растений и формирования их ценозов, сообществ плейстофитов и гелофитов (рис. 4). Интенсивное нарастание площади дельты наблюдается и в южной части, в устье Старостамбульского рукава, а также между Старостамбульским и Сулинским рукавами, где образовалась крупная румынско-украинская бухта (Мусура), продолжающая отделяться от моря косой Новая Земля (рис. 5). В настоящее время мелководья бухты характеризуются высоким флористическим богатством погруженных макрофитов.

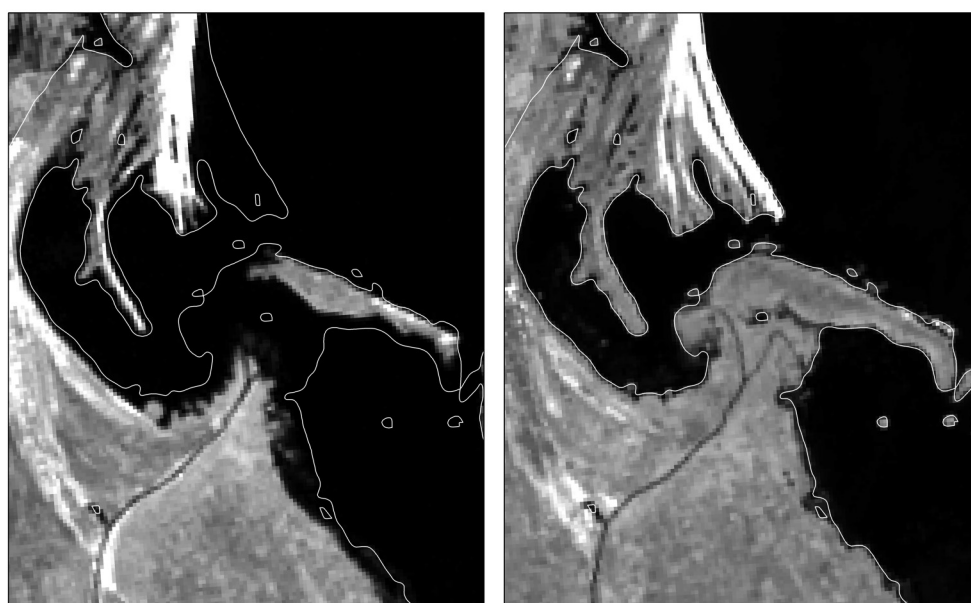
Площадь заливов в Килийской дельте с 1985 г. сократилась на 6,5 км<sup>2</sup> (площадь бухты Мусура не учитывалась). За это время образовались новые заливы в северной части дельты (у рукава Прорва, Бадика-3, -4, -5). Вместе с тем, в результате смещения косы Дальней к краю дельты исчез залив Желанный (рис. 6), заливы Потапов<sup>1</sup> и Цыганка изолировались от моря и пре-



1985 г.

2015 г.

2. Образование новых кос в устье рукавов Прорва и Потаповского, зарастание Таранова кута (контур 2015 г.).



1985 г.

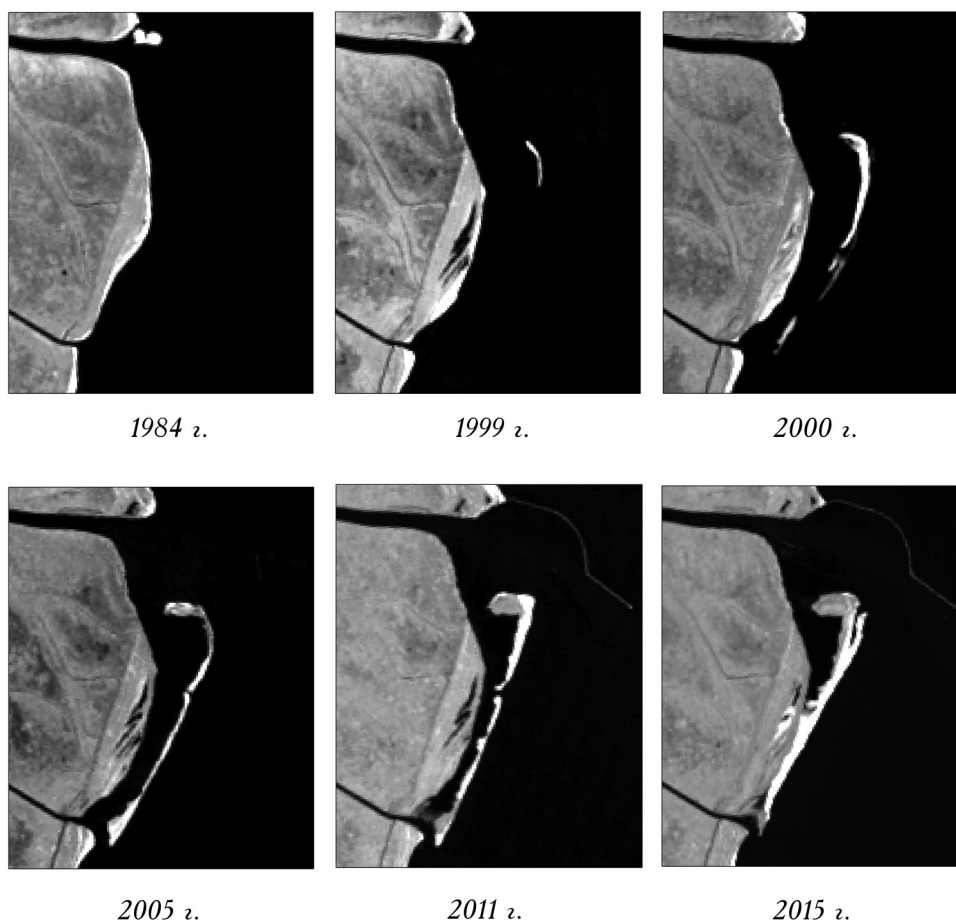
2015 г.

3. Выдвижение дельты в районе кута Бадика (контур 2015 г.).

вратились во внутريدельтовые водоемы, практически отделился от моря и Делюков кут. Сокращение площади заливов связано также с быстроидущими сукцессиями, вызывающими их зарастание плавневой растительностью, площадь которой увеличилась на 14,08 км<sup>2</sup> (с 220,30 до 234,38 км<sup>2</sup>). Это хоро-

<sup>1</sup> в 2016 г. начался размыв Потаповой косы и при сохранении процессов размыва велика вероятность того, что кут Потапов снова станет заливом.

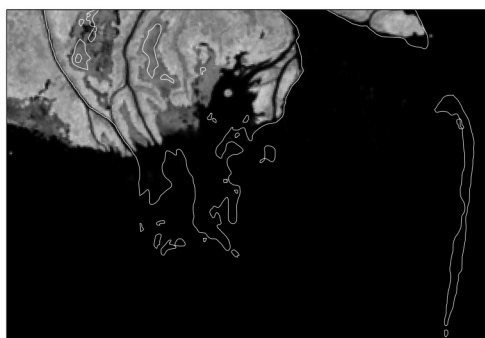




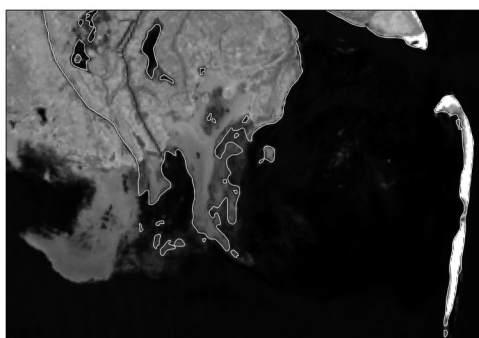
4. Динамика кута Быстрый.

шо заметно в более активных северной (см. рис. 2) и южной (см. рис. 5) частях дельты. Изоляция от моря и сокращение площадей заливов приводят к уменьшению биотопического разнообразия (выравниваются условия солености, проточности, состава донных отложений) и, следовательно, флористического и ценотического богатства гидрофитов [4, 12, 13].

Площадь внутридельтовых озер за исследуемый период увеличилась на 2,66 км<sup>2</sup>, что объясняется преимущественно отделением от моря ряда морских заливов. Озера зарастают как плавневой растительностью (Делюков, Рыбачий, Лимба), так и растительностью с плавающими листьями (вновь образованные озера, Ананькин кут). Площадь последней в КДД составляет 6,31 км<sup>2</sup>, что на 2,11 км<sup>2</sup> больше, чем в 1985 г. Увеличение произошло, в основном, за счет распространения водяного ореха (*Trapa natans* L. s. l.), заросли которого покрывают поверхность водоемов сплошным ковром, препятствуя развитию других видов растений и ухудшая условия обитания фитофильной фауны.



1985 г.



2015 г.

5. Нарастание дельты в ее южной части. Образование бухты Мусура (контур 2015 г.).



1985 г.

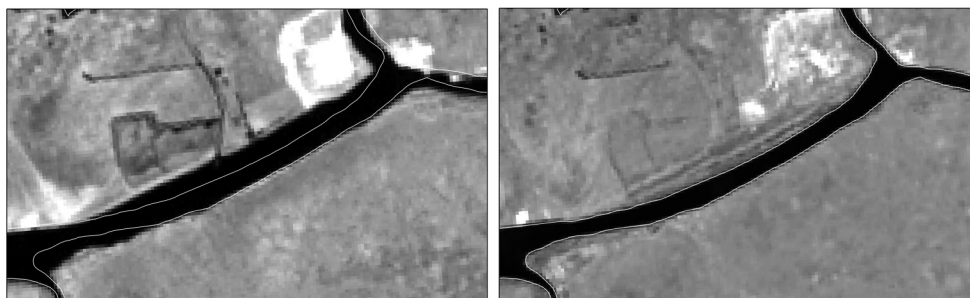


2015 г.

6. Размыв залива Желанный, зарастание Потапова кута (контур 2015 г.) и одного из Гнеушевых рукавов.

Наиболее существенно изменилась площадь водотоков. За 30 лет площадь акватории рукавов сократилась на 7,68 км<sup>2</sup>, 5,2 км<sup>2</sup> из которых приходится на водотоки системы Очаковского рукава. Так, за счет зарастания

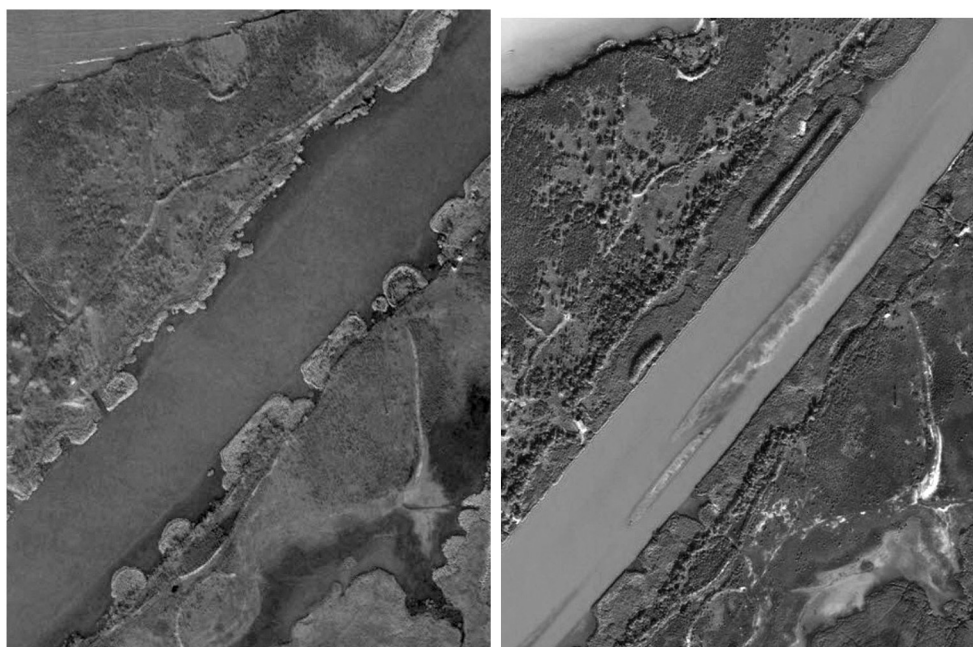




1985 г.

2015 г.

7. Зарастание Очаковского рукава (контур 2015 г.).

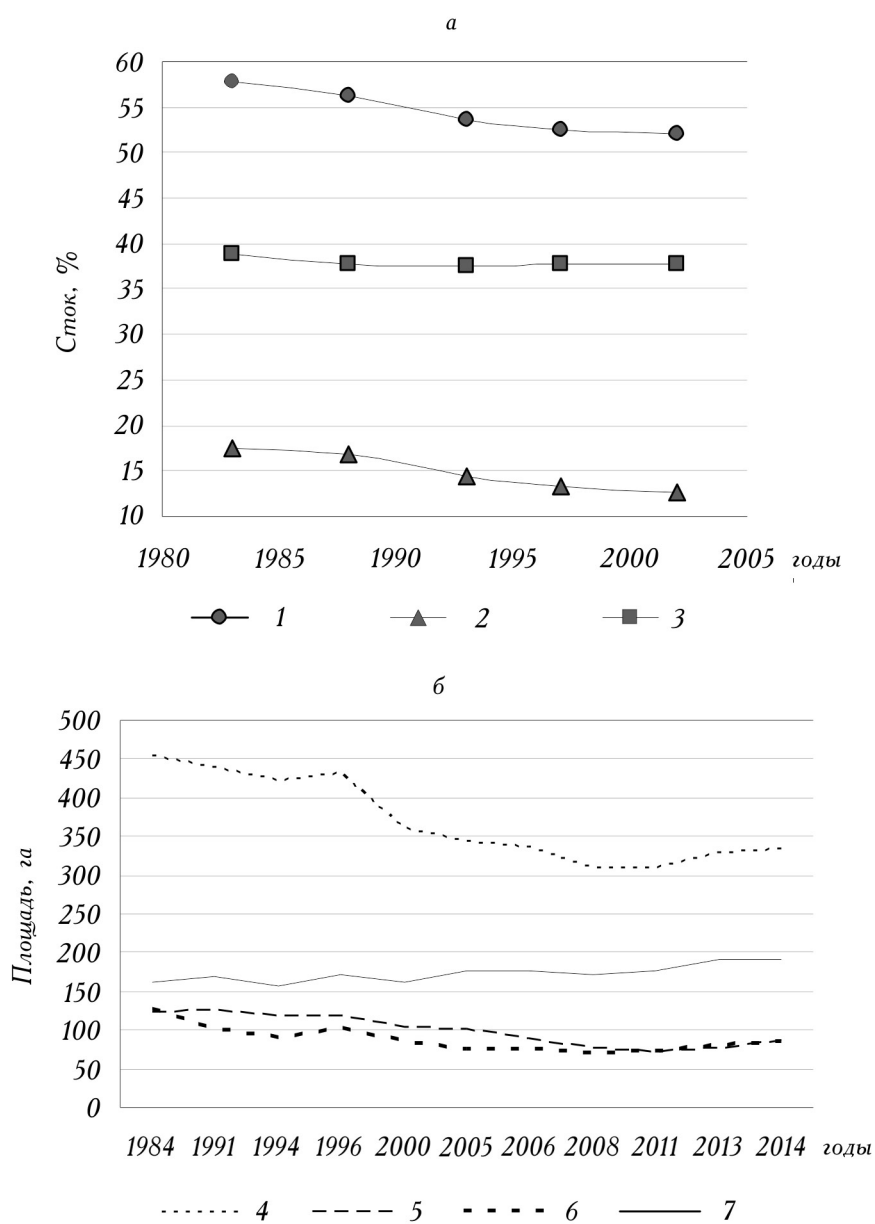


2005 г.

2015 г.

8. Зарастание рукава Прорва.

плавневой растительностью почти на 120 га уменьшилась площадь водной поверхности Очаковского рукава. В некоторых местах он стал уже более чем на 120 м. По-видимому, происходит и обмеление рукава, поскольку если в начале 2000-х годов отмели образовывались на расстоянии 20—30 м от берега, отделяя часть акватории, быстро зарастающую водной, а потом плавневой растительностью, то сейчас они намываются ближе к центру рукава,



9. Динамика стока (а) и площади водной поверхности (б) некоторых рукавов Килийской дельты: 1 — Килийский; 2,4 — Очаковский; 3 — Старостамбульский; 5 — Прорва; 6 — Потаповский; 7 — Быстрый.

и за три — четыре года превращаются в острова, покрытые кустарниковой растительностью (рис. 7).

Почти на 40 га сократилась и площадь акватории ранее судоходного рукава Прорва, который до 1990-х годов поддерживался постоянными дноуг-

лубительными работами. Ширина рукава в нижнем и среднем течении уменьшилась на 60—70 м. Ближе к устьевой части образовались отмели, которые вскоре сольются с берегом, еще больше сократив площадь водной поверхности рукава (рис. 8).

В системе Старостамбульского рукава процесс зарастания идет медленнее. В наиболее крупном и активном рукаве Быстрый, сток по которому с 2011—2012 гг. перестал увеличиваться в связи с сокращением водности Килийского рукава [11], площадь водной поверхности даже возросла почти на 30 га (рис. 9). Объясняется это постоянными гидротехническими работами по углублению бара рукава после создания по нему судового хода.

Таким образом, продолжающееся сокращение стока по Килийскому рукаву Дуная привело к уменьшению скорости выдвигания дельты в море. За исследованный период площадь водной поверхности водотоков сократилась примерно на 7,7 км<sup>2</sup>. Наиболее интенсивно затухают водотоки системы Очаковского рукава. Несмотря на нарастание дельты, площадь морских заливов сократилась на 6,5 км<sup>2</sup>, что объясняется их зарастанием, отделением от моря и переходом части заливов в разряд внутридельтовых озер, площадь которых увеличилась почти на 2,7 км<sup>2</sup>. В современной дельте по сравнению с дельтой 30-летней давности увеличилась площадь плавневой растительности (на 14,1 км<sup>2</sup>) и растительности с плавающими листьями (на 2,11 км<sup>2</sup>). Прогнозируемое сокращение водности Килийского рукава приведет к еще большему зарастанию водных объектов, особенно в системе Очаковского рукава, уменьшению водообмена во внутридельтовых озерах, изменению их гидрологического и гидрохимического режима, что вызовет уменьшение флористического и ценотического богатства водной растительности и изменения в структуре фитофильной фауны беспозвоночных [15]. Будет происходить дальнейшее «затухание» водотоков, уменьшение площади морских заливов, постепенное засоление плавней северной части дельты, уменьшение фитомассы господствующих тростниковых сообществ. Заросшие гидатофитами водоемы дельты теряют свою функцию рефугиумов водной флоры, нерестилищ и мест нагула молоди рыб, а теряющие сток рукава сокращают нерестовый ход дунайской сельди — основы дунайского рыболовства [10].

\*\*

*На підставі космічних знімків проводиться ретроспективний аналіз зміни площ різномісних водних об'єктів Кілійської дельти Дунаю. Показано, що за останні 30 років зменшились швидкість наростання дельти, площа заток і водотоків, особливо системи Очаківського рукава. У той же час відзначається збільшення площ внутридельтових озер, плавневої рослинності і рослинності з плаваючим листям.*

\*\*

*On the basis of space images, the retrospective analysis of the changes of water areas of Danube Kiliya delta water bodies was carried out. It was shown that over the last 30 years the rate of delta growth, the area of bays and watercourses, especially of the Ochakov arm system, has decreased. At the same time, areas of the intra-delta lakes, reed-bed vegetation and vegetation with floating leaves increased.*

\*\*

1. *Зеров К.К.* Водная растительность Килийской дельты Дуная // Дунай и сопредельные водоемы в пределах СССР. — Киев: Изд-во АН УССР, 1961. — С. 37—49.
2. *Дяченко Т.М.* Формування вищої водної рослинності дунайської гирлової області за сучасних екологічних умов: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 1995. — 23 с.
3. *Катанская В.М.* Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. — Л.: Наука, 1981. — 187 с.
4. *Клоков В.М., Дьяченко Т.Н.* Высшая водная растительность // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. — Киев: Наук. думка, 1993. — С. 41—77.
5. *Михайлов В.Н.* Гидрология дельты Дуная. — М.: ГЕОС, 2004. — 448 с.
6. *Михайлов В.Н., Дьякону К.* Современные процессы дельтообразования // Гидрология устьевой области Дуная. — М.: Гидрометеиздат, 1963. — С. 192—221.
7. *Михайлова М.В., Михайлов В.Н.* Устьевые гидролого-морфологические процессы как основа формирования экологических условий речных дельт // Вод. ресурсы. — 2003. — № 6. — С. 655—666.
8. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. — М.: Мир, 1992. — 184 с.
9. *Фортунатов М.А.* Аэрометоды и их применение при лимнологическом изучении континентальных водоемов // Тр. совещ. по проблемам биологии внутр. вод, 10—19 июня 1957 г. — М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 553—561.
10. *Черой А.И.* Сток воды, наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Одесса, 2009. — 24 с.
11. *Черой О.І.* Перерозподіл стоку по рукавах дельти Дунаю в умовах існування судноплавних каналів // Укр. гідрометеорол. журн. — 2013. — № 13. — С. 176—182.
12. *Dyachenko T.N.* Successions of Higher Aquatic Vegetation in Bays of the Kiliya Delta of the Danube // Hydrobiol. J. — 2000. — Vol. 36, N 6. — P. 160—168.
13. *Dyachenko T.N.* Dynamics of the higher aquatic vegetation of water bodies of the Danube Kiliya delta under anthropogenic impact // Ibid. — 2011. — Vol. 47, N 1. — P. 29—40.
14. *Grossberg S.* Classical and instrumental learning by neural networks. Progress in theoretical biology. — New York: Acad. press, 1974. — Vol. 3. — P. 51—141.
15. *Zorina-Sakharova E.E., Lyashenko A.V., Voloshkevich Y.V.* Phytophilous fauna of water bodies of the Kiliya delta of the Danube River: the main characteristics and the peculiarities of its development // Hydrobiol. J. — 2009. — Vol. 45, N 2. — P. 35—42.

<sup>1</sup>Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

<sup>2</sup>Научный Центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины, Киев