

УДК 528.8:551.482.6

© В.И. Кравцова, А.Н. Инюшин

В.И. Кравцова, А.Н. Инюшин

ДИНАМИКА ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ В XXI ВЕКЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

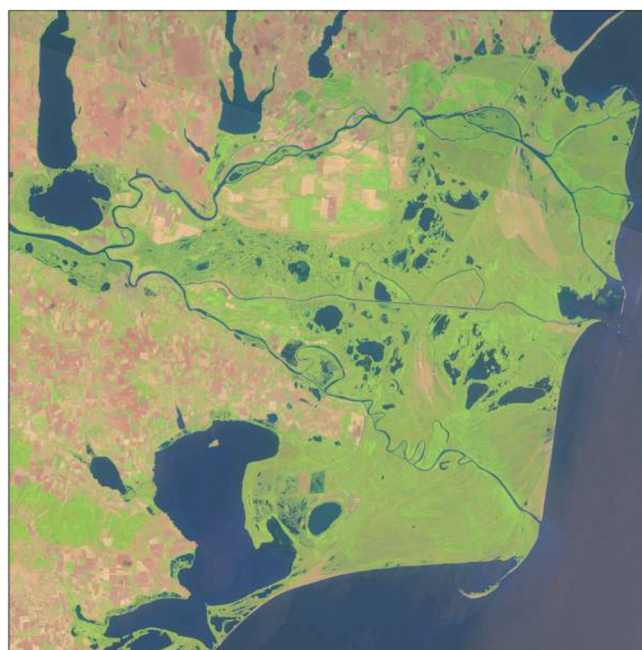
Введение

Дельты рек всегда были одними из самых динамичных природных объектов. Но сейчас, в век сильных климатических изменений, с одной стороны, и интенсивного антропогенного воздействия – с другой, оба эти фактора вносят существенные изменения в формирование дельт и присущую им динамику. Колебания климата меняют режим и количество осадков в бассейне реки, изменяется уровень моря как приемного водоема, его ветро-волновой режим. Многообразно проявление антропогенного воздействия: сведение лесов и сельскохозяйственное освоение территории ведет к развитию эрозионных процессов и увеличению стока наносов; строительство водохранилищ уменьшает объем твердого стока, изменяет режим заливания территории дельты; в интересах судоходства человек спрямляет извилины русел, меняет направление стока, что вызывает отмирание одних рукавов дельты и активизацию других [10, 11]. Как реагируют дельты рек разного типа на эти изменения?

В исследованиях динамики дельт рек по космическим снимкам, проведенных в последние годы, рассмотрены разработанные для этого методические приемы [4-6], а также различные аспекты динамики дельт: влияние водохранилищ на режим затопления дельты р. Замбези, вызвавшее аридизацию ландшафтов [8]; изменения дельты в связи с резким уменьшением твердого стока из-за работы водохранилищ и масштабных противоэрозионных мероприятий в бассейне реки Хуанхэ, где неоднократное антропогенное изменение направления стока вызвало размыв одних лопастей дельты и выдвигание других [7]; влияние колебаний уровня Каспийского моря на динамику дельт Урала, Терека, Сулака, Куры [13].

В нашей работе цикл исследований динамики дельт продолжен для дельты Дуная (рис. 1) – района, где в последние десятилетия, казалось бы, нет столь существенных внешних воздействий катастрофического характера, но активизируется хозяйственное использование территории дельты. Задача работы – продолжить проводившийся в предыдущие годы мониторинг состояния дельты по космическим снимкам, с временным интервалом

в несколько десятилетий, для нового периода (2002–2016 гг.), выявить динамику морского края дельты и устьев рукавов, а также территории дельты в целом в условиях антропогенного уменьшения стока наносов Дуная, естественного и антропогенного перераспределения стока между рукавами, некоторого повышения уровня моря и активизации морского волнения, а также хозяйственного освоения геосистем дельты.



**Рис. 1. Дельта Дуная в 2016 г.
(снимок со спутника Landsat-8)**

*Fig. 1. The Danube Delta in 2016
(image from Landsat-8)*

Характеристика района исследований

Дунай – важнейшая река Европы, главная транспортная артерия ее центральной и южной частей. Берет свое начало в горах Шварцвальд в Германии и впадает в Черное море, протекая по территории 10 государств – Германии, Австрии, Словакии, Венгрии, Сербии, Хорватии, Болгарии,

Румынии, Молдовы и Украины; на его берегах расположены четыре столицы – Вена, Братислава, Будапешт и Белград. Длина реки примерно 2860 км, что ставит ее в Европе на второе место после Волги. Площадь бассейна 817 тыс. км². Дунай образует в своем устье третью по размерам дельту в Европе (после Волги и Терека) площадью примерно 4200 км². 80% территории дельты принадлежит Румынии, 20% Украине. Дельту формируют два основных рукава – Килийский и Тульчинский. Последний, в свою очередь, делится на Сулинский и Георгиевский рукава, а Килийский рукав в нижней части делится на Очаковский и Старостамбульский рукава.

Граница дельты на севере начинается около села Приморское, проходит по берегам озер Катлабух, Кугурлуй и Китай до вершины дельты – места разветвления реки на Килийский и Тульчинский рукава, а далее устремляется на юг вдоль склона плато Добруджа и по берегу озера-лагуны Разельм выходит к Черному морю.

Дунай находится на втором месте в Европе (после Волги) по объему стока воды, который в среднем чуть превышает 200 км³/год. За весь период наблюдения за стоком с 1840 года зафиксировано постепенное повышение его количества, которое достигло максимума в 1961-1970 гг. и затем несколько снизилось к концу XX века. Среднегодовой расход воды Дуная составляет 6500 м³/сек [2]. Так же как и в отношении стока воды, заметен тренд увеличения расхода к 1960-м годам и дальнейшее незначительное снижение.

Для Дуная характерно длительное половодье в апреле–мае и межень в августе–октябре. Отношение стока воды самого многоводного месяца к самому менее водному составляет меньше 2, что говорит о том, что в целом Дунай достаточно многоводен весь год.

В настоящее время Килийский рукав берет на себя 52% стока воды Дуная, а на Сулинский и Георгиевский приходится 20 и 26% соответственно. Однако еще в начале XX века на Килийский рукав приходилось 72% стока. Увеличение доли стока румынских рукавов обусловлено прежде всего гидротехническими работами в Сулинском и Георгиевском рукавах (их спрямлением), а также дроблением самого Килийского рукава на мелкие водотоки.

Дунай значительно опережает все реки Европы по количеству стока наносов, которое в XX веке составляло 60 млн т в год, однако в последние десятилетия сократилось до 30-40 млн т в год [2]. Это же касается и мутности, которая теперь менее 200 г/м³ вместо 320 г/м³ в середине XX века. Снижение твердого стока связано со строительством плотин и водохранилищ как на самом Дунае, так

и на его притоках, особенно плотины «Железные ворота 1» в 1971 г. на границе Сербии и Румынии.

История развития и исследования дельты Дуная

Дельта Дуная начала формироваться примерно 5-6 тыс. лет назад в обширной лагуне, образовавшейся после постледникового повышения уровня Мирового океана и отгороженной от моря длинной пересыпью. Заполнение речными наносами лагуны завершилось лишь к началу второго тысячелетия нашей эры; тогда же сформировалась и основная часть гидрографической сети дельты. В морфологии современной дельты хорошо выделяются серии бывших береговых валов и веера морских кос, отражающие этапы нарастания берега, а также серии параллельных валов, срезанные современной береговой линией, указывающие на развитие абразионных процессов и размыв крупных выступов дельты [15]. Освоение дельты Дуная людьми началось во времена греческой колонизации берегов Черного моря, в VII-VI вв. до н.э.

В середине XIX века в дельте начались первые гидрологические исследования в связи с выбором рукава, пригодного для международного судоходства; в качестве такового был выбран Сулинский рукав. После передачи Российской империи во второй половине XIX в. Килийского рукава гидрологические изыскания для улучшения судоходных условий проведены и в этой части дельты. Однако действительно крупномасштабные гидрологические исследования дельты Дуная начались лишь в конце 1950-х годов. В 1958 г. в Вилково начала работать Дунайская устьевая станция, а в 1960 г. в Измаиле создана Дунайская гидрометеорологическая обсерватория. В изучении дельты принимали участие множество организаций и специалистов из Румынии и СССР, а основным результатом советско-румынского сотрудничества стала крупная совместная монография [1].

С появлением снимков из космоса начались исследования по картографированию динамики дельты. Одно из первых было выполнено в 1978 г. и охватило период с 1883 по 1972 гг. [9]. Для выявления динамики использовалась карта Европейской России Корпуса военных топографов, изданная в 1888 г. в масштабе 1:420 000, отразившая состояние местности на 1883 год. В результате ее сравнения с одним из первых снимков со спутника *Landsat* (первоначальное название *ERTS*) составлена первая «Карта динамики дельты Дуная за 1883-1972 гг.». Выявлено, что за период исследования площадь дельты увеличилась на 175 км², прежде всего за счет Килийской дельты, которая выдвинулась в море на 4-10 км, со среднегодовой скоростью 2 км²/год. В то

же время участок берега между устьями Сулинского и Георгиевского рукавов подвергся размыву и отступил на 1-1,5 км, со средней скоростью 11-17 м/год.

В 1980 г. съемка дельты Дуная была выполнена со спутника *Meteop-30*. Сравнение этих снимков со снимками со спутника *Landsat* 1972 г. позволило проследить динамику за 8 лет [3]. По составленной карте выявлены изменения на морском крае дельты в пределах Килийской дельты. Очаковский и Старостамбульский рукава выдвинулись в море на 150-500 м, общая площадь увеличения Килийской дельты составила 10 км², а приращение – 0,33 км²/год, таким образом, при продолжавшемся выдвигении Килийской дельты темп его резко сократился (в 6 раз).

При подготовке фундаментальной монографии по дельте Дуная мониторинг изменения дельты по космическим снимкам был продолжен на 1980-1990-е годы и выполнено исследование ее динамики за 1972-2002 гг. [12]. Составленная «Карта динамики дельты Дуная за 1972-2002 гг.» показала, что изменения площади дельты в последние десятилетия невелики и приурочены к устьям крупных рукавов, где формируются аккумулятивные косы, и к участку между Сулинским и Георгиевским рукавами, где продолжился абразионный размыв дельты. Однако облик дельты во внутренней ее части за это время был сильно изменен хозяйственной деятельностью человека – осушением плавней и сельскохозяйственным освоением мелиорированных земель.

Природные геосистемы дельты и их хозяйственное использование

Расположенная в зоне умеренного континентального климата с среднегодовыми температурами в Вилково 11 °С (июля 22 °С, января –1 °С) и среднегодовым количеством осадков 450 мм дельта Дуная характеризуется значительным биоразнообразием. Благодаря теплоте и мягкому климату, обилию увлажнения и богатым почвам дельта имеет пышную и разнообразную растительность – подводную, надводную, плавневую и наземную. Огромную площадь занимает плавневая растительность – здесь находится крупнейший в мире ареал тростника. Наземная растительность, там, где она не заменена сельскохозяйственными культурами, представлена лиственными лесами, редкостойными дубовыми лесами на песчаных грядах древних береговых валов, посадками белого тополя и ивы.

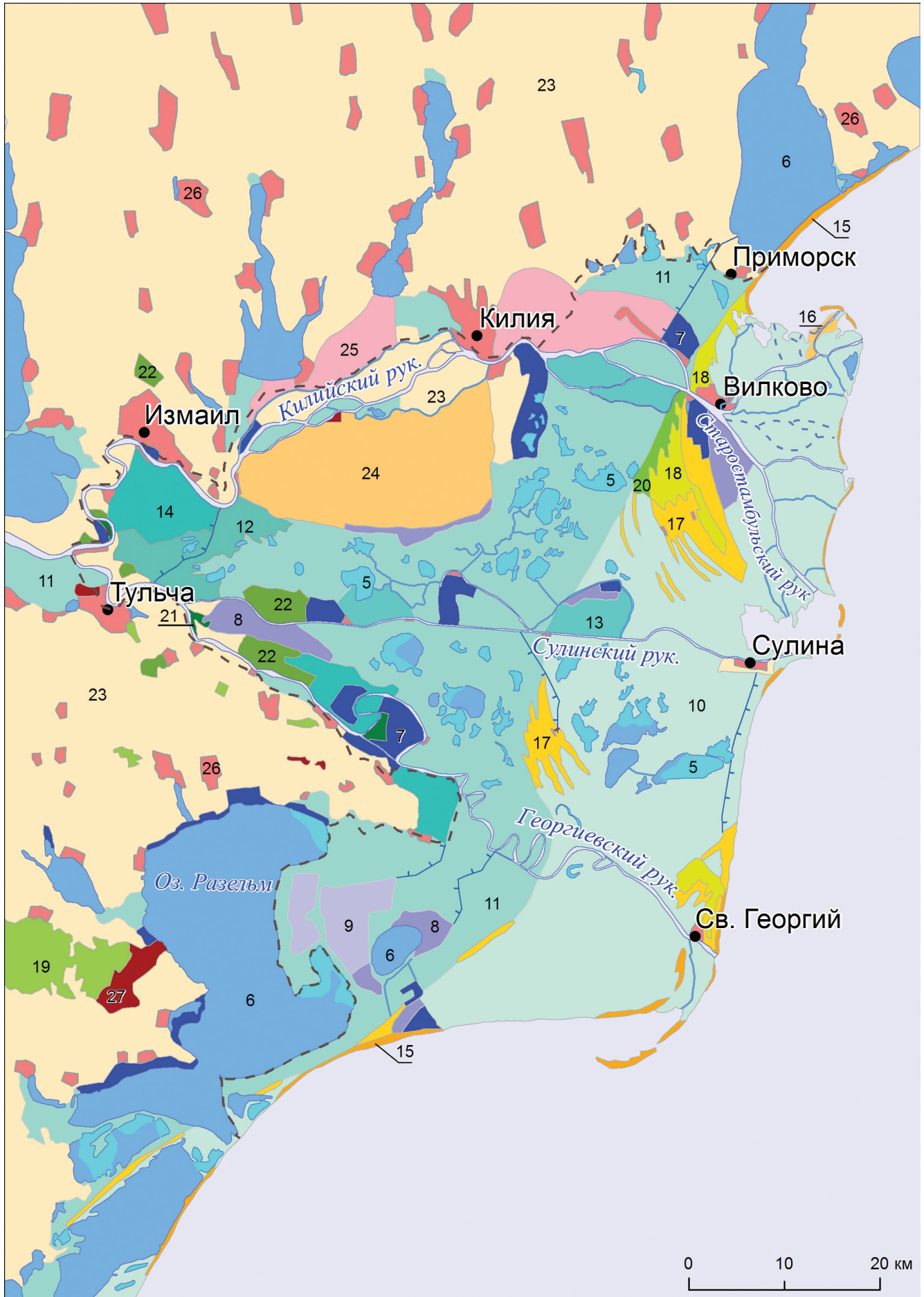
Дельта Дуная активно освоена человеком, поскольку расположена на стыке морских и речных путей, имеет благоприятные природно-климатические условия и богата ресурсами. Наиболее развитые отрасли хозяйства – это сельское хозяйство, судоходство, рыбное хозяйство, выращивание

и заготовка тростника и рекреация. Биосферный заповедник «Дельта Дуная» площадью 5,8 тыс. км² помимо дельты включает и другие, прилегающие к ней территории.

В процессе исследований динамики дельты по космическим снимкам разных лет на них проявлялись изменения в хозяйственном освоении дельты. Судя по картам конца XIX в., вся площадь дельты представляла собой тростниковые плавни, среди которых выделялись сухие острова из песчаных гряд с расположенными на них селами и хуторами, соединенными дорогами, идущими по песчаным валам. Во второй половине XX в. к традиционному сельскохозяйственному и рыбохозяйственному использованию дельты в ее румынской части началась промышленная заготовка тростника, созданы хозяйства по его выращиванию, и 1960-1970-е годы были названы «тростниковым периодом» [2]. В это время началось также интенсивное сельскохозяйственное освоение северной советской части дельты под рисосеяние. В 1970-1980-е годы большие площади дельты были обвалованы для рыбохозяйственного использования, в частности плавни восточнее оз. Разельм («рыбный период»). В 1980-1990-е годы проведено масштабное осушение плавней в районе депрессии Пардина в северной румынской части дельты, созданы обвалованные польдеры для сельскохозяйственного использования. Однако в западной части этих польдеров вблизи вершины дельты были восстановлены естественные условия обводнения, и она используется для выращивания и промышленной заготовки тростника. В результате современное хозяйственное использование территории дельты оказывается весьма разнообразным. Оно отражено на карте природных и антропогенных геосистем дельты, составленной по снимкам со спутника *Landsat-8* 2016 г. с учетом дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения, представленных в системе GoogleEarth (рис. 2).

Большую часть дельты занимают естественные ландшафты – тростниковые плавни с густой сетью плавневых озер и песчаные гряды на месте древних береговых валов и кос, частично покрытые лесами. Однако значительная часть внутренней дельты охвачена антропогенными преобразованиями, отраженными на карте.

Наиболее масштабным было осушение плавней северной части дельты для сельскохозяйственного использования. В 1970-х годах на левом берегу Килийского рукава в его нижнем течении на тогда советской территории созданы Килийская и Лисковская рисовые системы (южнее Жебрияновского лимана). В 1980-х годах в румынской части дельты предпринято осушение озер и плавней на правом



Условные обозначения

Гидрографическая сеть

Водотоки

- 1 - действующие рукава дельты
- - - 2 - отмершие рукава
- 3 - внутридельтовые водотоки плавневой зоны
- 4 - каналы

Озёра

- 5 - озёра с чистой водой
- 6 - озёра с водой повышенной мутности

Рыбохозяйственные водоёмы

- 7 - действующие (рыбные хозяйства)
- 8 - подготавливаемые (участки плавней, подготавливаемые для рыбохозяйственного использования)
- 9 - заброшенные (участки плавней повышенного обводнения на месте заброшенных рыбохозяйственных водоемов)

Тростниковые плавни

- 10 - тростниковые плавни морской части дельты на песчаных грядах и в избыточно обводненных межгрядовых ложбинах, с разреженной сетью крупных озер
- 11 - тростниковые плавни речной части дельты, избыточно обводненные, с густой сетью крупных и малых озер
- 12 - тростниковые плавни вершины дельты, закустаренные
- 13 - участки плавней с сетью мелиоративных каналов, подготавливаемые для заготовки тростника
- 14 - плантации по выращиванию и заготовке тростника

Пески

- 15 - пляжи береговой зоны, аккумулятивные косы, береговые валы
- 16 - наносы песков на приустьевых участках рукавов, слабо освоенные растительностью;
- 17 - серии песчаных гряд – реликтовых береговых валов и кос – подверженных золотой переработке и осложненных дюнным рельефом, лишенные растительности
- 18 - серии песчаных гряд, частично освоенных дубово-тополевым редколесьем

Леса

- 19 - дубовые леса на водораздельных участках плато
- 20 - дубово-тополевые леса на песчаных грядах реликтовых кос в дельте
- 21 - ивово-тополевые приустьевые леса
- 22 - искусственные посадки леса, лесопитомники

Сельскохозяйственные поля

- 23 - массивы полей преимущественно богарного земледелия на прилегающих к дельте территориях
- 24 - массивы полей на осушенных землях дельты (польдеры)
- 25 - рисовые плантации

Селитебные и промышленные объекты

- 26 - города и сельские населенные пункты
- 27 - промзоны, карьеры, военные полигоны
- - - 28 - внутренние (сухопутные) границы дельты

Рис. 2. Карта природных и антропогенных геосистем дельты Дуная

Fig. 2. The map of the Danube delta's natural and economic geosystems

берегу Килийского рукава, в его средней части – в депрессии Пардина (первая внутренняя дельта Килийского рукава), и к 1990-м годам здесь уже существовал крупный массив сельскохозяйственных полей, функционирующих и теперь. Поскольку при осушении депрессии Пардина сточные воды направлялись на юг, в депрессию Шонтя-Фуртуна, и вызвали ее преувлажнение, то в этом районе плавней дельты проведена мелиорация; сеть мелиоративных каналов видна на снимках высокого разрешения. Другие, меньшие по площади участки сельскохозяйственных земель в дельте, располагаются вблизи населенных пунктов – по обоим берегам Килийского рукава выше Измаила, по берегам Тульчинского и Георгиевского рукавов в районе Тульчи, по правому берегу Килийского и Старостамбульского рукавов напротив Вилково.

Значительные площади в дельте занимают участки, подготовленные для рыбохозяйственных объектов. Они представляют собой участки плавней разного размера (500-700 м) и конфигурации, раз-

деленные прямолинейными дамбами и каналами (шириной 5-10 м, а магистральные каналы – 20-30 м), в совокупности образующие единые массивы площадью 2-3 км². На краю такого массива обычно имеется небольшой участок с системой строго прямоугольных разделенных дамбами водоемов, размером 50 × 100 м каждый, для выращивания мальков. Такие рыбохозяйственные объекты отделированы в северной части дельты в районе Вилково (по восточному берегу канала Дунай-Буг южнее Жебриянского лимана и на левом берегу Килийского рукава южнее Вилково) и южнее Килии (вдоль восточного уступа Килийской гряды), а также в крайней южной части дельты восточнее озера Разельм. В центральной части дельты также выявляется несколько таких участков, с подготовленными, но пока не заполненными водой водоемами. Они расположены вдоль обоих берегов Сулинского рукава и по левому берегу Георгиевского рукава. В то же время обширные, разделенные дамбами водоемы восточнее озера Разельм, функционировавшие

в 1970-1990-е годы, видимо, перестали использоваться, на их месте уже в 2002 г. были видны лишь небольшие остаточные озера; частично обсохла и котловина сократившегося по площади озера Дранов.

Важный вид хозяйственного использования дельты – выращивание и заготовка тростника для целлюлозного завода в г. Браила. По снимкам выделяется несколько таких участков, самый большой (около 50 км²) – на правом берегу Килийского рукава, напротив г. Измаила, как раз там, где вначале предполагалось создать сельскохозяйственные польдеры. Другой участок расположен на левом берегу Георгиевского рукава в 15 км ниже его истока, третий – на правом берегу этого рукава, у подножия выступа плато Добруджа, ограничивающего дельту. Таким образом, все они привязаны территориально к берегам крупных рукавов, что обеспечивает транспортировку заготовленного материала. Их изображение на снимках отличается от земледельческих полей. Для тростниковых хозяйств характерна строгая прямолинейная планировка: участки одинаковой ширины (350-400 м) имеют большую протяженность (1200-1600 м), разделены узкими каналами (3-4 м) и ориентированы преимущественно ортогонально к берегам рукавов (обычно это соответствует направлению север-юг), что, очевидно, связано с условиями механизированной обработки и транспортировки. Чередование делянок разного цвета (зеленых и бурых) показывает, на какой части тростник уже срезан. Кроме функционирующих участков выращивания и заготовки тростника, по снимку выделяются площади, подготавливаемые для такого использования, где разбита сеть узких мелиоративных каналов, разделяющих территорию на будущие делянки с такими же параметрами, как используемые. Они расположены по левому берегу Сулинского рукава, а также на островах второй внутренней дельты Килийского рукава. Однако скашивание тростника в дельте Дуная проводится не только на специально подготовленных территориях, но и произвольно. Значительные по площади участки скошенного тростника наблюдались в Килийской дельте по снимкам 1991, 2002 гг. между рукавами Восточный и Быстрый, Очаковский и Полуденный, Акундинов и Песчаный, а также в крайней южной части дельты.

Контрастно по отношению к тростниково-плавневой дельте выглядят леса на песчаных грядах. Они характерны для северной части дельты, где обширную площадь занимает веер гряд Летя. Вдоль гряд с развеваемыми дюнными песками вытянуты узкие полосы редкостойных лесов, а с западной подветренной тыловой части веера, у древнего берегового вала, есть и полосы сомкнутых

лесов. Веер песчаных гряд в южной части дельты – Сэратуриле – значительно менее облесен, а гряды Караорман в центре дельты почти полностью безлесны. Узкие полосы древесной растительности из ивы и тополя характерны для прирусловых участков главных рукавов дельты: они протягиваются по обоим берегам Килийского и Тульчинского рукавов в районе их разделения, вдоль Георгиевского рукава, а также в излучинах его теперь спрямленных меандр. Разрозненные пятна древесно-кустарниковой растительности характерны также для зоны плавней верхней части дельты на участке между Тульчинским рукавом и протокой, идущей от Килийского рукава на восток.

Однако, кроме естественной древесной растительности, в дельте имеются участки лесопосадок – лесопитомники, где на четко распланированных делянках видны ровные ряды насаждений разной высоты и возраста, распознаваемых по снимкам высокого разрешения. Один из лесопитомников находится на левом берегу Сулинского рукава в 5 км ниже по течению от его развилки с Георгиевским, а второй на левом берегу Георгиевского рукава в 8 км ниже той же развилки. Участки занимают площадь по 10-15 км², она не изменилась с 1990 г.

Материалы и методика исследования динамики морского края дельты

Главная задача настоящего исследования – составление карт динамики морского края дельты – выполнялась по космическим снимкам *Landsat-5*, 7, 8. Выбор именно этих снимков определяется тем, что снимки *Landsat* находятся в свободном доступе и распространяются бесплатно, их разрешение 30 м достаточно для определения изменений МКД за 10–15-летний период, а съемочные системы *TM*, *ETM+* и *OLI* трех спутников *Landsat* имеют все каналы, подходящие для дешифрирования контура дельты (синий, зеленый, красный, ближний инфракрасный и средний инфракрасный) (табл. 1). Все космические снимки получены с сайта *EarthExplorer.usgs.gov* Геологической службы США. Изображения поставляются с выполненной привязкой, представлены в проекции *UTM* соответствующей зоны. Точность привязки составляет 30-60 м. Дополнительно к снимкам *Landsat* просматривались снимки сверхвысокого пространственного разрешения (лучше 1 м) в системе Google Earth, что было необходимо при уточнении типа объектов береговой зоны.

Использовались снимки за летний период как наиболее контрастные. Просмотрено около 20 летних снимков на дельту за период с 2002 по 2016 гг. Однако, в связи с тем, что изменения морского края дельты велики, было решено ограничиться снимками только

Таблица 1

Характеристика спектральных каналов спутников Landsat-5, 7, 8

Characteristic of spectral bands for Landsat-5, 7, 8 satellites

| Спектральный канал | Длина волны (мкм) | | | Пространственное разрешение (м) | | |
|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | <i>Landsat-5, TM</i> | <i>Landsat-7, ETM+</i> | <i>Landsat-8, OLI, TIRS</i> | <i>Landsat-5, TM</i> | <i>Landsat-7, ETM+</i> | <i>Landsat-8, OLI, TIRS</i> |
| Побережий и аэрозолей | – | – | 0,43-0,45 | – | – | 30 |
| Синий | 0,42-0,52 | 0,42-0,52 | 0,45-0,51 | 30 | 30 | 30 |
| Зеленый | 0,52-0,6 | 0,52-0,6 | 0,53-0,59 | 30 | 30 | 30 |
| Красный | 0,63-0,69 | 0,63-0,69 | 0,64-0,67 | 30 | 30 | 30 |
| Ближний инфракрасный | 0,76-0,9 | 0,76-0,9 | 0,85-0,88 | 30 | 30 | 30 |
| Перистых облаков | – | – | 1,36-1,38 | – | – | 30 |
| Средний инфракрасный 1 | 1,55-1,75 | 1,55-1,75 | 1,57-1,65 | 30 | 30 | 30 |
| Средний инфракрасный 2 | 2,08-2,35 | 2,08-2,35 | 2,11-2,29 | 30 | 30 | 30 |
| Панхроматический | – | 0,52-0,9 | 0,5-0,68 | – | 15 | 15 |
| Тепловой | 10,4-12,5 | 10,4-12,5 | 10,6-11,19 | 120 | 60 | 100 |
| | | | 11,5-12,51 | | | 100 |

за крайние годы периода 2002 и 2016 г. Отобраны лучшие по качеству снимки *Landsat-5* за 13 мая 2002 г. и *Landsat-8* за 30 июля 2016 г.

Дешифрирование береговой линии дельты выполнялось визуально по просмотрным изображениям *Landsat* в варианте синтеза, где красному (R), зеленому (G) и синему (B) цвету соответствуют второй средний инфракрасный (*Short Wavelength InfraRed, SWIR 2*), ближний инфракрасный (*Near InfraRed, NIR*) и зеленый (*Green*) съемочные каналы. В отдельных случаях, в местах зарослей тростника на мелководье, была необходимость обращаться к снимку в среднем инфракрасном диапазоне спектра. В целом, береговая линия дельты определялась уверенно и четко.

Дешифрирование береговой линии выполнялось визуально на экране компьютера, с фиксацией положения береговой линии вручную в программном обеспечении *ArcMap 10.3.1*. слои с береговой линией создавались путем ее цифрования в формате *shape*. Для береговой линии за каждую дату создавался отдельный полигональный слой. Для полученных полигональных слоев дельты, с помощью операции *Calculate Geometry* определялась площадь в км² и заносилась в поле *Area* атрибутивной таблицы с точностью до 1 га.

Далее, с помощью инструмента геообработки *Union* выполнялось объединение пар снимков. На выходе для каждой пары получался полигональный слой, в котором неизменившаяся часть дельты, участки увеличения площади (приросшая часть дельты) и участки уменьшения площади (размытая часть дельты) представляли собой отдельные полигоны и окрашивались по-разному.

Составленная по описанной выше методике схема динамики дельты Дуная за 2002-2016 гг., приведенная на рис. 3, показывает, что за весь период исследования с 2002 по 2016 гг. в дельте произошли относительно незначительные изменения, и сосредоточены они, в основном, в районе Килийской дельты, где отмечается ее небольшое нарастание вблизи устьев дельтовых рукавов. На протяжении участка дельты между рукавами Сулинским и Георгиевским зафиксирован небольшой размыв берега. В южной части дельты изменилось положение аккумулятивной косы Сахалин, приблизившейся к берегу, а западнее – небольшой размыв морского края дельты. В связи с относительно небольшими изменениями для анализа динамики требуется переход к более крупному масштабу. Поэтому, по предложению проф. В.Н. Михайлова, выделено семь идущих подряд без разрывов с севера на юг генетически однородных участков морского

края дельты. Пять из семи участков приходится на продолжавшую выдвигаться Килийскую дельту, поскольку именно в ней сосредоточены основные изменения, различающиеся на протяжении морского края между небольшими рукавами. Два другие охватывают большие по протяженности участки морского края – один между Сулинским и Георгиевским рукавами, где схема показывает размыв морского края, а другой южный, более стабильный берег дельты. Поскольку все участки имеют разную протяженность, то и масштаб на схемах у них разный. Разделение на участки показано на рис. 3.

Динамика морского края дельты по семи участкам

Участок № 1 простирается от западного берега Жебриянской бухты до середины залива между устьями рукавов Прорва и Потаповского (рис. 4). Береговая линия этого участка сильно изрезана, осложнена четырьмя глубоко вдающимися в сушу заливами, разделенными между собой устьевыми выступами трех рукавов – рукава Белгородского, давно отмершего рукава Полуночного и также отмершего рукава Шабаш. Территория участка в основном низменная, заболоченная. С запада его окаймляют древние песчаные валы – бывшие морские косы, поросшие редким лесом, а на востоке вокруг рукава Прорва также выходят на поверхность пески, поросшие редким кустарником. Вся же центральная часть участка покрыта тростниковыми зарослями.

На этом участке, как и в предшествующий период 1972-2002 гг. [12], несмотря на волновой размыв выступающих частей МКД, преобладала аккумуляция наносов. С 2002 по 2016 гг. прирост площади на этом участке составил 1,58 км², а размыв 0,79 км², таким образом, за период исследования площадь здесь увеличилась на 0,79 км². На западном берегу Жебриянской бухты продолжала нарастать Жебриянская коса (третья из веера кос, вторгающихся в залив), удлинившаяся на 300 м и расширившаяся на 100 м. Вдоль косы в море на небольшом расстоянии от берега (70 м) прослеживается вдольбереговой вал и серия узких песчаных островков, расположенных по одной линии, указывающих на возможное дальнейшее расширение косы или появление новой. Остров Белгородский, существовавший против устья одноименного рукава, расширился, присоединился к суше и стал полуостровом. По «исторической линейке» снимков в Google Earth удалось установить, что этот остров окончательно присоединился к основному массиву дельты на стыке 2012 и 2013 годов. Площадь в этом месте увеличилась на 0,67 км². Из крупных изменений заметно также образование новой косы

западнее устья рукава Прорва. Площадь этой косы составляет 0,25 км². В дальнейшем очень вероятно соединение полуострова Белгородского с выступом давно отмершего Полуночного рукава и превращение залива Солёный Кут в лагунное озеро. Возможно также соединение третьей Жебриянской косы с полуостровом Белгородским. Берега соседних с полуостровом Белгородским заливов все больше и больше зарастают тростником и заболачиваются, отмечается равномерно распределенный вдоль них прирост.

Размыв тоже распределен равномерно, выделяется размыв выступа давно отмершего Полуночного рукава в центре Жебриянской бухты, ее площадь уменьшилась на 0,13 км². Протяженная узкая размытая полоса идет вдоль острова Шабаш, составляя по площади 0,3 км².

В целом для участка характерна тенденция к выравниванию МКД в будущем за счет отчленения вдающихся в сушу заливов и превращения их в лагунные озера. Нарушает ее лишь образование новой косы западнее устья рукава Прорва.

Второй участок протягивается от середины залива между устьями рукавов Прорва и Потаповского (конца первого участка) до правого берега устья рукава Полуденного (рис. 5). Он охватывает устье рукава Потаповского с аккумулятивными косами к северу от него (коса Таранова) и к югу (Новая Потаповская коса). Представляет собой низменный и заболоченный берег, еще недавно осложненный вдающимся в сушу заливом, а теперь выровненный. В центре участка расположено свежееобразованное лагунное озеро. Побережье покрыто тростником, за исключением песчаной косы Таранова к северу от устья Потаповского рукава и узких (до 10 м) песчаных дистальных окончаний Новой Потаповской косы.

На этом участке дельты произошли достаточно существенные изменения. За 2002-2016 гг. прирост дельты составил 3,31 км², размыв 1,94 км², а площадь дельты увеличилась на 1,37 км². Коса Таранова, которая располагалась по левую сторону от устья рукава Потаповского и отделяла залив между ним и рукавом Прорва, мигрировала ближе к берегу на 600 м, в ней образовались многочисленные разрывы. Коса стала уже примерно в 2 раза, ширина ее в южной части уменьшилась с 200 до 100 м, а в северной она представлена цепочкой островков. Возможно, эта коса в случае ее нарастания в будущем окончательно отчленит залив и образуется новое лагунное озеро. В то же время Новая Потаповская коса справа от устья рукава Потаповского продолжила нарастание, ее восточный берег подвергся сильному размыву, а сама коса переместилась вплотную к суше на 250-300 м,



Рис. 3. Динамика морского края дельты Дуная за 2002-2016 гг. Цифрами показаны номера участков детального анализа динамики

Fig. 3. Dynamics of Danube Delta sea edge for 2002-2016. Numbers of parts for detail analyzing are shown with figures



Рис. 4. Динамика морского края северной части Килийской дельты. Участок № 1

Fig. 4. Dynamics of sea edge for the Northern part of Kiliya delta. Part No. 1



Рис. 5. Динамика морского края северной части Килийской дельты. Участок № 2

Fig. 5. Dynamics of sea edge for the Northern part of Kiliya delta. Part No. 2

тем самым отчленив лагуну и превратив залив в лагунное озеро. Однако небольшой проран (шириной всего 30 м) в косе есть, и не исключено, что во время стонно-нагонных явлений это озеро все еще может сообщаться с морем. Пока лагуна обводнена, ее берега поросли тростником, так же как и отделяющая ее коса. В сравнении с прошлым периодом исследования, наблюдавшийся ранее размыв баровых островов в устье рукава Потаповского прекратился, прирост площади Новой Потаповской косы сохранил и даже ускорил свой темп. Прекратился размыв берегов бывшего залива, превратившегося в лагуну, по причине его почти полной блокировки. Южная оконечность Новой Потаповской косы блокирует устье рукава Правого Гнеушева. Рукав Левый Гнеушев не функционирует, полностью зарос.

Участок № 3 протягивается от правого берега устья рукава Полуденного до левого берега рукава Быстрого (рис. 6). Это ровный, слегка вогнутый участок берега, для которого характерно наличие береговых валов, хорошо различимых на снимках сверхвысокого разрешения. В северной части насчитывается 4-5 валов, в южной их полоса расширяется до 500 м и выделяется 7-8 валов. Ближние к морю валы песчаные, полоса песка имеет ширину до 20 м, дальше от моря валы зарастают кустарниками, а ровная поверхность дельты за ними занята зарослями тростника. Площадь этого участка за 2002-2016 гг. увеличилась на 1 км², размыв же здесь не проявляется. Прирост отмечается по всему морскому краю участка, плавно увеличиваясь к южной части. На этом участке дельты раньше подходили к морю еще два рукава – Средний и Песчаный. Их заросшие русла до сих пор узнаваемы на снимках, а устьевые конусы выноса упираются в вдольбереговые валы, свидетельствуя, что со времени образования валов рукава не функционировали. В 1972-2002 гг. на этом участке при сравнении космических снимков был зафиксирован размыв, отмечался он и на некоторых профилях полевых наблюдений [2], поэтому предполагалось, что и в дальнейшем он, возможно, продолжится. Однако в итоге и в этом месте берег нарастал, что подтверждает и просмотр истории снимков сверхвысокого разрешения в *Google Earth*.

Четвертый участок начинается у левого берега устья рукава Быстрого, а кончается у правого берега рукава Восточного. Это самый маленький по протяженности, но весьма динамичный участок (рис. 7), характерную особенность которого составляет коса Птичья. Территория участка низменная, заболоченная, с зарослями тростника. Но вблизи берега протягивается полоса береговых валов шириной 500 м – три вала выделяются в северной части,

в южной веерообразно расходятся пять валов; между валами сохранились остатки лагун. Валы поросли кустарниками.

Рукав Быстрый – главный судоходный выход в море из Украинской части дельты. Левый устьевой выступ Быстрого между 2011 и 2012 гг. выдвинулся в море на 300 м (к береговым валам более северного участка № 3 присоединился островок). От этого выступа в море построена дамба, вначале полукруглая, а затем прямолинейная, направленная на юго-восток (на этом участке она включила в себя ранее построенную дамбу). Дамба защитила устье рукава Быстрого от размыва, который действовал здесь раньше. Благодаря дамбе поток наносов из рукава Быстрого следует в южном направлении, что обеспечивает питание Птичьей косы.

На этом участке дельта приросла на 0,89 км², а размыв составил 0,43 км². Таким образом, площадь участка выросла на 0,46 км². Все изменения связаны с Птичьей косой. Она сформировалась из продуктов размыва бара рукава Быстрого в течение нескольких лет между 1991 и 1998 гг. [12]. В сентябре 2002 г., по результатам полевых съемок В.Н. Михайлова, длина косы была 3,8 км, а ширина составляла от 100 до 200 м. Обращенная к морю часть косы песчаная, без растительности, а противоположная сторона покрыта тростником. В целом размеры косы к 2014 г. не изменились, хотя коса разделилась на две части, между северной и южной образовался проран. Но положение косы изменилось – благодаря размыву мористой стороны и нарастанию ближней к суше косы перемещается к берегу и в 2013 г. в средней части причленилась к нему. Но к 2016 г. северная часть косы стала примерно в 2 раза шире. Пока она отделена от берега дельты мелководным заливом, но при заполнении этого залива наносами должно произойти очень быстрое выдвигание правого устьевого выступа рукава Быстрого сразу на 1400 м. Южная часть косы Птичьей в 2014 г. еще отстояла от берега и отделяла мелководный залив с мутной водой, поступающей из рукава Восточный, но в 2016 г. он заполнился наносами, и южная часть косы также причленилась к берегу.

Участок № 5 простирается от правого берега рукава Восточного до левого берега устья Сулинского рукава. Это последний и самый протяженный участок Килийской дельты, на котором выходит в море Старостамбульский рукав (рис. 8). Для северной части этого участка характерен ровный, слегка вогнутый песчаный берег с береговыми валами. Южная часть представляет собой низменный, сильно заболоченный берег с глубоко вдающейся в сушу бухтой Мусура, блокированной косой Новая Земля. Побережье бухты сильно заросло тростником.



Рис. 6. Динамика морского края средней части Килийской дельты. Участок № 3

Fig. 6. Dynamics of sea edge for the middle part of Kiliya delta. Part No. 3



Рис. 7. Динамика морского края средней части Килийской дельты. Участок № 4

Fig. 7. Dynamics of sea edge for the middle part of Kiliya delta. Part No. 4



Рис. 8. Динамика морского края южной части Килийской дельты. Участок № 5

Fig. 8. Dynamics of sea edge for the Southern part of Kiliya delta. Part No. 5

Именно этот участок дельты лидирует по приросту – 9,54 км², что составляет почти 60% прироста Килийской дельты. При этом размыв здесь составил всего 0,81 км², а площадь дельты в итоге увеличилась на 8,73 км². В северной части этого участка по всему морскому краю дельты тянется полоса прироста шириной в среднем 150 м. Здесь так же, как и на участке № 3, на предыдущем этапе исследований по космическим снимкам за период 1972-2002 гг. отмечался размыв, однако, по нашим данным за 2002-2016 гг., на нем проявилась аккумуляция, и снимки сверхвысокого разрешения в *Google Earth*, на которых видны серии береговых валов, подтверждают это. Материал для прироста обеспечивается благодаря резкому повороту на юг мутных вод рукава Восточного, устье которого блокируется южным окончанием Птичьей косы и ее подводным продолжением.

Южнее устья Старостамбульского рукава коса Новая Земля, длиной более 4 км и шириной от 20 до 150 м, сформированная наносами этого рукава в период 1991-2002 гг., переместилась в северо-западном направлении к 2016 г. на 400 м. В разные годы за период 2002-2016 гг. она была разделена проранами на отдельные острова. Площадь косы осталась примерно прежней.

В южной части участка расположена глубоко вдающаяся в сушу бухта Мусура. Значительное увеличение площади участка № 5 обеспечивается разрастанием зарослей тростника на мелководье вдоль берегов бухты, а также, в меньшей степени, аккумуляцией материала в этой бухте, в частности по обеим сторонам от устья рукава Лимба. Прирост в основном сосредоточен на северном – 6,7 км² и южном – 1 км² берегах бухты.

По сравнению с 1972-2002 гг. прирост дельты на этом участке ускорился, а размыв, отмечавшийся ранее на севере участка, а также в южной и западной частях бухты Мусура, прекратился.

В Килийской дельте в целом прирост составил 16,32 км², а размыв 3,97 км². В итоге дельта приросла на 12,35 км², из них 71% приходится на пятый участок. За весь период исследования с 2002 по 2016 гг. Килийская дельта прирастала со среднегодовой скоростью 1,17 км²/год, а размыв составлял 0,28 км²/год. По этим данным можно заключить, что по сравнению с 1972-2002 гг. прирост дельты ускорился в 2,25 раза, а размыв в 1,5 раза. Однако если в данных о размыве учесть перемещение кос, то на берегах размыв уменьшился. В то же время по сравнению с периодом за 1883-1972 гг. общий прирост дельты замедлился с 2 км²/год до 0,89 км²/год (т.е. в 2,25 раз). Все ареалы прироста дельты сохранились, и даже образовался один новый (коса западнее устья рукава Прорва).

Участок № 6 располагается от правого берега устья Сулинского рукава до левого берега устья Георгиевского рукава (рис. 9).

Это ровный низменный берег, слегка вогнутый на севере у правого устьевых выступа Сулинского рукава. Вдоль побережья тянется пляж шириной 50-150 м. Со стороны суши пляж имеет волнистую границу, сформированную ветро-волновыми заплесками песка, что свидетельствует о действии морского волнения. В северной части участка пляж примыкает к низменным заболоченным и заозеренным равнинам дельты, а в южной к берегу под косым углом подходят серии параллельных гряд – древних береговых валов и морских кос, срезанных абразионными процессами на давних этапах формирования дельты.

На этом отрезке дельты прирост составил 0,84 км², а размыв 1,71 км², что в итоге привело к уменьшению площади участка на 0,87 км². Таким образом, это единственный участок дельты, на котором с 2002 по 2016 гг. преобладал размыв. Весь прирост сосредоточен на самом севере участка, у правого устьевых выступа Сулинского рукава, у начала Сулинских молов. А узкая полоса размыва шириной 100-150 м простирается на 23 км по всему остальному морскому краю этого участка дельты. Отступление берега происходит в связи с активным волновым размывом с одной стороны и отсутствием значительного стока наносов, который у Сулинского рукава невелик (16% твердого стока Дуная). Поступающий из Сулинского рукава твердый сток отклоняется Сулинскими молами и уносится в море на 4 км от берега. Лишь вихревое движение мутных вод, перехлестывающих через южный мол, обеспечивает поступление наносов к берегу моря в районе Сулины и их аккумуляцию [15]. В предыдущие годы отступление берега на этом участке было еще сильнее: 11-17 м/год в 1883-1972 гг. и 15 м/год в 1972-2002 гг., против 7-10 м/год за исследуемый период. Этому участку берега посвящено много исследований румынских специалистов, работающих совместно с голландскими и американскими учеными. Тщательно исследуются ветровые и волновые процессы, источники поступления наносов, связанного с периодическими выплесками мутных вод из устья Сулинского рукава и бухты Мусура, снижающими степень эрозии, оцениваемую темпами отступления берега 10-20 м год [16]. Строятся прогнозы отступления МКД: при подъеме уровня моря 10-15 см прогнозируется отступление берега к 2030 г. на величину от 30 до 150 м [17]. По разным сценариям отступление через 50 лет может составить до 550 м [14].

Последний участок № 7 начинается от правого берега устья рукава Георгиевского до южной



Рис. 9. Динамика морского края дельты Дуная между устьями Сулинского и Георгиевского рукавов. Участок № 6

Fig. 9. Dynamics of sea edge of Danube delta between mouths of Sulina and St. George branches. Part No. 6

оконечности всей дельты – бывшего гирла озера-лагуны Разельм (рис. 10). Участок представляет собой ровный слабоогнутый низменный берег с крупной косой Сахалин к югу от устья Георгиевского рукава, сформированной наносами этого рукава. Судьба этой косы прослежена румынскими специалистами с середины XIX в. [15]. Вдоль остального побережья тянется песчаный пляж. В восточной части участка граница пляжа со стороны суши изрезана, сформирована волновым заплеском и ветровым надувом песка; в юго-западной части вдоль берега тянутся береговые валы.

На этом участке площадь прироста равняется 4,75 км², а размыва 4,63 км². В целом же участок прирос всего на 0,12 км², т.е. прирост и размыв примерно равны. Основные изменения связаны с косой Сахалин, для которой характерно ровное песчаное побережье с морской стороны и изрезанность бывшими дистальными окончаниями косы с тростниковыми зарослями – с другой. Коса мигрировала ближе к суше, а ее часть стала островом. Место отделения косы от суши с внутренней стороны заболочено, на мелководье заросло тростником. Длина косы увеличилась на 1,5 км, а ширина осталась прежней. Это единственное место участка № 7, где зафиксирован прирост площади. Южнее косы Сахалин, примерно

до середины участка, простирается абразионный берег с узкой полосой размыва шириной около 50-70 м, вызванного ветро-волновыми процессами. Западная половина участка стабильна, положение береговой линии практически не изменилось. По сравнению с 1972-2002 гг. темп роста и приближения к берегу косы Сахалин остался прежним. А западнее косы начался небольшой размыв берега, которого ранее не было.

Количественные данные о динамике морского края дельты Дуная по каждому из 7 участков, темпах размыва и аккумуляции приведены в табл. 2.

Заключение

Исследование изменений морского края дельты Дуная за 2002-2016 гг. показало, что дельта Дуная продолжает расти. Прирост всей дельты за 2002-2016 гг. составил 21,91 км², а размыв 10,31 км². Среднегодовая скорость прироста по всей дельте – 1,57 км²/год, а размыва 0,74 км²/год. В целом площадь дельты увеличилась на 11,6 км². При этом весь прирост площади сосредоточен в Килийской дельте. Это объясняется тем, что Килийский рукав обеспечивает более 50% стока воды и более 60% стока наносов дельты, а также связано с более разветвленной сетью рукавов и водотоков.

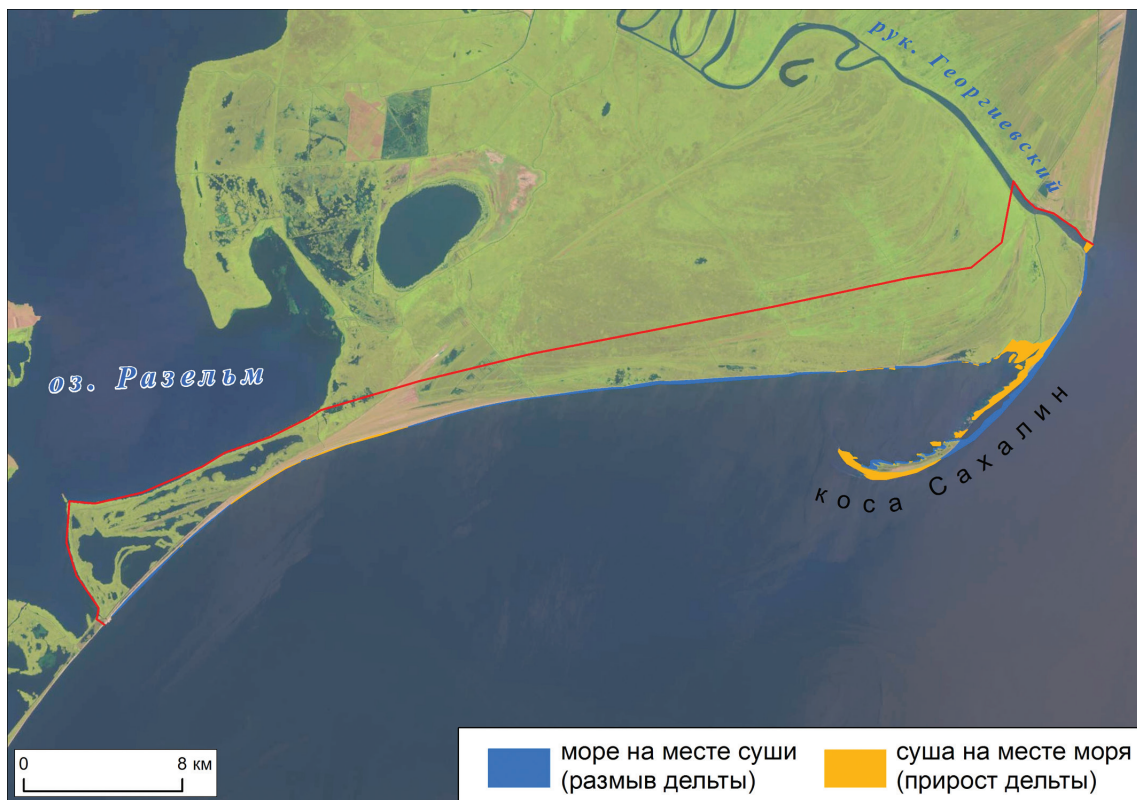


Рис. 10. Динамика морского края южной части дельты Дуная. Участок № 7

Fig. 10. Dynamics of sea edge for the Southern part of Danube delta. Part No 7

Таблица 2

Количественные характеристики динамики дельты Дуная по семи участкам исследования

Quantity characteristic of Danube Delta dynamics for seven parts of the sea edge

ГЕОЭКОЛОГИЯ

| Номер участка | Прирост, км ² | Размыв, км ² | Изменение км ² | Длина, км | Изменение за год км ² /год | Изменение на километр за год, км ² *год/км |
|----------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|---|
| 1 | 1,58 | 0,79 | +0,79 | 44,2 | +0,06 | +0,0014 |
| 2 | 3,31 | 1,94 | +1,37 | 14,9 | +0,1 | +0,0067 |
| 3 | 1 | 0 | +1 | 7,5 | +0,07 | +0,0093 |
| 4 | 0,89 | 0,43 | +0,46 | 8,8 | +0,03 | +0,0034 |
| 5 | 9,54 | 0,81 | +8,73 | 36,5 | +0,62 | +0,017 |
| Сумма с 1 по 5 | 16,32 | 3,97 | +12,35 | 111,9 | +0,88 | +0,0079 |
| 6 | 0,84 | 1,71 | -0,87 | 33,9 | -0,06 | -0,0018 |
| 7 | 4,75 | 4,63 | +0,12 | 69,5 | +0,01 | +0,0001 |
| Итого | 21,91 | 10,31 | +11,6 | 215,3 | +0,83 | +0,0039 |

Сравнение с материалами исследований динамики дельты за предшествующие годы показывает следующее. С конца XIX века по 1972 год очень активно выдвигалась Килийская дельта (2 км²/год), а на участке между Сулинским и Георгиевским рукавами происходило значительное отступление берега (11-17 м/год). В 1972-2002 гг. выдвигание Килийской дельты замедлилось (0,33 км²/год), а темп отступления берега между Сулинским и Георгиевским рукавами сохранился (14-15 м/год). В 2002-2016 гг. по сравнению с 1972-2002 гг. рост Килийской дельты не только продолжался, но и усилился. Можно сделать следующие выводы:

- дельта Дуная продолжает свое развитие и увеличение площади, однако в основном за счет заполнения неровностей морского края (зарастание отчленяемых устьевыми косами лагун) и в значительно меньшей степени за счет выдвигания устьевых участков;
- все старые ареалы прироста сохранились, и к ним добавились новые – в Жебриянской бухте, образование новой косы к западу от устья рукава Прорва;
- скорость прироста дельты по сравнению с периодом 1972-2002 гг. увеличилась в 2 раза в среднем по всей дельте;
- скорость фактического размыва дельты (не учитывая перемещение кос) сократилась примерно в 2 раза; число ареалов размыва также значительно уменьшилось;

- размыв между Сулинским и Георгиевским рукавами сохранился, но темп его замедлился в 2 раза.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 16-05-00288. Авторы выражают благодарность профессору В.Н. Михайлову за инициативу проведения исследования и ценные консультации.

Ключевые слова: дельта, космические снимки, динамика, аккумуляция, размыв, природные, антропогенные геосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрология устьевого области Дуная / А.М. Алмазов, К. Бондар, Н.Ф. Вагин [и др.] ; под ред. Я.Д. Никифорова и К. Дьякону. – М. : Гидрометиздат, 1963. – 383 с.
2. Гидрология дельты Дуная / под ред. проф. В.Н. Михайлова. – М. : ГЕОС, 2004. – 448 с.
3. Ефремова О.Н., Кравцова В.И. Изучение динамики дельты Дуная с использованием космических снимков // Исследование Земли из космоса. – 1981. – № 5. – С. 90-96.
4. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 206 с.
5. Кравцова В.И. Анализ динамики дельт на основе космических снимков // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 4. – С. 402-409.
6. Кравцова В.И., Ефремова О.Н. Картографирование динамики дельт по космическим снимкам // Вестн.

- Моск. ун-та. – Серия 5. География. – 1984. – № 1. – С. 70-81.
7. Кравцова В.И., Инюшин А.Н. Разнонаправленная динамика современной дельты Хуанхэ: исследование по космическим снимкам в условиях приливных явлений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 105-110.
8. Кравцова В.И., Михайлов В.Н. Дельта Замбези и ее изменения под воздействием водохранилищ // Вестн. Моск. ун-та. – Серия 5. География. – 2014. – № 3. – С. 48-56.
9. Кравцова В.И., Ушакова Л.А., Чекалина Т.И. Изучение динамики дельты Дуная с использованием материалов космической съемки // Геоморфология. – 1979. – №1. – С. 59-67.
10. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. – М. : ГЕОС, 1997. – 413 с.
11. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. – М. : Изд-во МГУ, 1998. – 176 с.
12. Михайлов В.Н., Уваров И.А., Корнилов М.В., Михайлова М.В. Динамика морского края дельты // Гидрология дельты Дуная. – М. : ГЕОС, 2004. – С. 346-361.
13. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / под ред. В.Н. Михайлова. – М. : ГЕОС, 2013. – 703 с.
14. Dan S., Stive M. J.F., Walstra D-J.R., Panin N. Wave climate, coastal sediment budget and shoreline changes for the Danube Delta // Marine Geology. – 2009. – V. 262. – P. 39-49.
15. Giosan L., Donnelly J.P. et al. River delta morphodynamics: Examples from the Danube delta // River Deltas – Concepts, Models, and Examples : SEPM Special Publication. – 2005. – No. 83. – P. 393-411.
16. Stănică A., Dan S., Jimenes J.A., Ungureanu G.V. Dealing with erosion along the Danube Delta coast. The CONSCIENCE experience towards a sustainable coastline management // Ocean & Coastal Management. – 2011. – V. 54, Is. 12. – С. 898-906.
17. Stănică A., Panin N. Present evolution and future predictions for the deltaic coastal zone between the Sulina and Sf. Gheorghe Danube river mouths (Romania) // Geomorphology. – 2009. – V. 107, Is. 1-2. – P. 41-46.
3. Efremova O.N., Kravtsova V.I. Study of the Danube Delta dynamics by using satellite images // Issledovaniya Zemli iz kosmosa, 1981, No. 5. P. 90-96.
4. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I. Aerospace investigations of geographical phenomena dynamics. Moscow : Izd. MSU. 1991. 206 p.
5. Kravtsova V.I. Analyzing of deltas dynamics at satellite images base // Water Resources, 2001, V. 28, No. 4. P. 402-409.
6. Kravtsova V.I., Efremova O.N. Mapping of deltas dynamics by satellite images // Vestnik of Moscow State University. Ser. 5, Geography, 1984, No. 1. P. 70-81.
7. Kravtsova V.I., Inyushin A.N. Multidirectional dynamics of modern delta of Huang He River: research has been carried out via space images in terms of tidal effect // Izvestia Vuzov, Geodesy and Airophotosurwey-ing, 2016. V. 60, No. 5. P. 105-110.
8. Kravtsova V.I., Mikhailov V.N. The River Zambezy Delta and its dynamics by water reservoirs impact // Vestnik of Moscow State University. Ser. 5, Geography, 2014, No. 3. P. 48-56.
9. Kravtsova V.I., Ushakova L.A., Chekalina T.I. Study of the Danube Delta dynamics using materials of space survey // Geomorphology, 1979, No. 1. P. 59-67.
10. Mikhailov V.N. Rivers mouths of Russia and surrounded countries: past, recent and future. Moscow : GEOS, 1997. 413 p.
11. Mikhailov V.N. Hydrology of rivers mouths. Moscow : Izd. MSU, 1998. 176 p.
12. Mikhailov V.N., Uvarov I.A., Kornilov M.V., Mikhailova M.V. Dynamics of delta sea edge // Hydrology of the Danube Delta. Moscow : GEOS, 2004. P. 346-361.
13. River mouths of the Caspian region: history of formation, modern hydrological-morphological processes and dangerous hydrological phenomena / Ed. by V.N. Mikhailov. Moscow : GEOS, 2013. 703 p.
14. Dan S., Stive M. J.F., Walstra D-J.R., Panin N. Wave climate, coastal sediment budget and shoreline changes for the Danube Delta // Marine Geology 2009. V. 262. P. 39-49.
15. Giosan L., Donnelly J.P. River delta morphodynamics: examples from the Danube Delta / River Deltas – Concepts, Models, and Examples : SEPM Special Publication. No. 83, 2005, P. 393-411.
16. Stănică A., Dan S., Jimenes J.A., Ungureanu G.V. Dealing with erosion along the Danube Delta coast. The CONSCIENCE experience towards a sustainable coastline management // Ocean & Coastal Management 2011. V. 54, Is. 12. P. 898-906.
17. Stănică A., Panin N. Present evolution and future predictions for the deltaic coastal zone between the Sulina and Sf. Gheorghe Danube river mouths (Romania) // Geomorphology 2009. V. 107, Is. 1-2. P. 41-46.

REFERENCES

1. Hydrology of the Danube Delta mouth region / A.M. Almazov, K. Bondar, N.F. Vagin [et al.] ; ed. by Ya.D. Nikiforov and K. Dyakonov. Moscow : Gidrometizdat, 1963. 383 p.
2. Hydrology of the Danube Delta / ed. by prof. V.N. Mikhailov. M. : GEOS, 2004. 448 p.