

A. S. KES

## Summary

The Sarykamysch is one of largest desert depressions of the Middle Asia, which was filled with the Amu-Darya water more than once throughout the Pliocene—Holocene. During Early and Middle Pleistocene as well as during last 350 years it was dry and modelled by arid processes. Since late 1950th a disposal (mostly of waste waters) began from fields of the left-bank Khoresm oasis. At present a lake has been created within the Sarykamysch depression of about 2000 sq. km area and up to 40 meters depth, the water being brackish. The inflow of water still exceeds the loss through evaporation, therefore the lake area is gradually increasing.

УДК 551.435.126(282.243.7)

В. И. КРАВЦОВА, Л. А. УШАКОВА, Т. И. ЧЕКАЛИНА

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Космические снимки благодаря большой обзорности, единовременности охвата съемкой значительных территорий и возможности регулярного повторения съемок представляют ценный материал для изучения динамики многих природных объектов, в том числе дельтовых областей. Примером успешного использования космических снимков в этих целях может служить изучение динамики ландшафтов западного Прибалхашья и дельты р. Или (Николаев и др., 1976). В настоящей работе для изучения динамики дельты Дуная — одной из крупнейших дельтовых областей мира, подвергающейся интенсивному сельскохозяйственному освоению, — использованы снимки с американского ресурсного спутника «Ландсат-1» (ЕРТС) м-ба 1:1000 000, сделанные 4 сентября 1972 г. в четырех спектральных диапазонах: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1 мкм (рис. 1).

На снимках хорошо видны три главных рукава Дуная, называемые «гирлами» — северное, Килийское гирло, по которому осуществляется сейчас основной транзит твердого и жидкого стока Дуная; средний, Сулинский рукав, спрямленный для судоходства в 1867—1895 гг., углубленный и обвалованный; южное, Георгиевское гирло. Все три рукава четко выделяются черным фототонном на снимках в инфракрасных зонах (0,7—0,8 и 0,8—1,1 мкм) и имеют на снимках в видимом спектральном диапазоне (0,5—0,6 и 0,6—0,7 мкм) светлый тон изображения, что связано с очень большой мутностью воды. По измерениям на момент съемки, выполненным Измаильской обсерваторией, она составляла в Очаковском рукаве Килийского гирла более 280 г/л.

По снимкам четко разделяются две крупные части дельты: древняя и более молодая, границей между которыми служит полоса береговых валов, сложенных песком с ракушкой (Самойлов, 1952; Р. Cotet, 1973). Светлая четкая линия бывших береговых валов-баров и серии кулисообразно расположенных баров, фиксирующих постепенное отступление береговой линии, особенно хорошо выделяются на снимке в зоне 0,6—0,7 мкм, где светлый тон изображения песков достаточно резко контра-

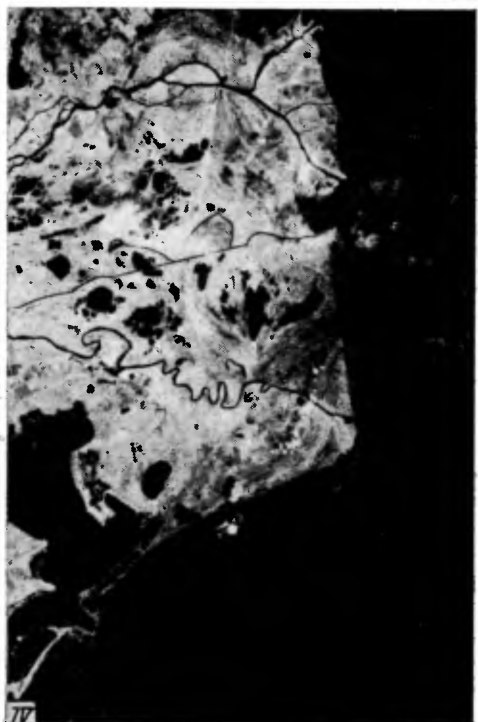


Рис. 1. Снимки дельты Дуная со спутника «Ландсат-1», полученные 4 сентября 1972 г. в диапазонах: I — 0,5—0,6; II — 0,6—0,7; III — 0,7—0,8; IV — 0,8—1,1 мкм

стирует с темным тоном изображения плавневой растительности. Современные береговые бары и полосы пляжей почти всюду прослеживаются в виде светлых линий вдоль побережья дельтовой равнины, за исключением активно растущей Килийской части. В южной части дельты Дуная береговые бары отчленяют крупные лиманы и лагуны.

Большую часть площади дельты (87%) занимают плавни, глубина которых обычно 1—2 м, реже 3—4 м. Площадь плавней устанавливается очень четко при сравнении снимков 4 или 5 и 6 или 7 зон — в видимом диапазоне спектра (0,5—0,6 и 0,6—0,7 мкм) они имеют серый или темно-серый тон изображения, а в ближнем инфракрасном (0,7—0,8 и 0,8—1,1 мкм) — светло-серый, почти белый. Такие особенности изображения связаны со спектральной отражательной способностью растительных объектов, характеризующихся сравнительно низкими коэффициентами спектральной яркости в видимом диапазоне и резким их увеличением в ближнем инфракрасном диапазоне спектра.

В пределах плавней выделяются площади с открытым зеркалом воды — плавневые озера. Озера, расположенные вдоль главных русел дельтовых рукавов, и озера межрусловых плавней, питающиеся речными и грунтовыми водами — пресные; лиманно-лагунные озера, расположенные вдоль Черноморского побережья в южной части дельты, отчлененные от моря береговыми барами, — засолены. При сравнении снимков в наиболее коротковолновой и длинноволновой частях спектра (0,5—0,6 и 0,8—1,1 мкм) можно даже визуальнo разделить озеро по мутности вод на группы.

Кроме плавневой части дельты в пределы снимка попадают участки высоких террас и коренной берега — наиболее освоенные сельскохозяйственные территории. Их контуры хорошо отделяются от плавней светлым тоном на снимках в видимом (0,5—0,6 и 0,6—0,7 мкм) диапазоне спектра, а на снимках в ближнем инфракрасном диапазоне хорошо прослеживается сетка сельскохозяйственных угодий, так как яркость изображения необработанных полей, обработанных полей со стерней и распашанных массивов в этом диапазоне различна. В плавневой части дельты Дуная на снимках в красной зоне спектра (0,6—0,7 мкм) четко выделяются освоенные участки — рисовые поля с характерной для них правильной прямоугольной нарезкой, особенно хорошо заметной благодаря сети оросительных каналов и дамб. На приустьевом взморье прекрасно прослеживается распространение взвешенного материала, выносимого Дунаем, и характер вдольберегового перемещения наносов в прибрежной зоне моря. На снимках можно наблюдать перенос материала на 150 км к югу от Килийского гирла; можно предполагать, что он продолжается еще южнее, к берегам Болгарии. Анализ снимков в разных спектральных диапазонах свидетельствует о достаточно быстром погружении взвешенного материала, максимальной концентрации его на некоторой глубине в 5—15 км от берега и сравнительно малом объеме транспортируемого материала в поверхностном водном слое.

Использование снимков в четырех спектральных диапазонах позволяет установить крупные черты геоморфологического строения дельтовой равнины, выделить геоморфологические районы, крупные формы и элементы рельефа дельты, выявить основные тенденции ее развития и направленность дельтообразующих процессов. Кроме того, с помощью этих снимков можно изучать строение и развитие гидросети дельтовой равнины, особенности функционирования главных дельтовых водотоков и крупных внутренних водоемов, разделяющихся по мутности. На снимках надежно выделяются контуры плавневой растительности, плавни разделяются по степени обводнения. В прибрежной зоне, на предустьевом взморье дельты, определяются зоны различной концентрации взвешенного материала, выносимого Дунаем в море, и прослеживается распределение взвешенного материала в плане и по глубине.

Серия разновременных космических снимков дала бы исключительно ценные материалы для изучения динамики дельты. Однако для выявления изменений дельты за значительный период времени мы пока еще не располагаем материалами космических съемок, разделенных достаточно большим интервалом времени. Для этих целей вполне применимы старые картографические материалы. Ряд достаточно кондиционных съемок был выполнен в середине и конце прошлого века. К их числу относятся прежде всего работы Корпуса военных топографов в России. Мы воспользовались листами десятиверстной (м-ба 1:420 000) карты Европейской России, которая создавалась в 1865—1871 гг. и представляет собой выдающееся произведение военной картографии XIX в. (Салищев, 1943). Карта дельты Дуная с большой тщательностью передает рисунок береговой линии моря и озер, гидрографии, границы заболоченных плавней, участков развития песков. Эти элементы отображены на карте с детальностью, вполне сопоставимой с детальностью космических снимков.

Чтобы обеспечить возможность сопоставления снимка и карты, оба изображения были приведены к одному масштабу. Мы пользовались отпечатками космического снимка в м-бах 1:500 000 и 1:300 000. С листов карты были изготовлены фотокопии на прозрачной основе (пленке) в тех же масштабах, которые накладывались на снимок.

Некоторой помехой для прямого сопоставления является различие проекций снимка и карты: карта составлена в проекции Гаусса-Ламберта, снимок — в проекции Международной карты Мира в м-бе 1:1 000 000 (система обработки снимков с «Ландсата» предусматривает перевод изображения в эту проекцию). Расхождения, вызванные различием проекций, составляют в пределах использованного фрагмента снимка величины порядка 1—2 мм в м-бе 1:300 000 (300—600 м на местности) и сравнительно легко устраняются при сопоставлении двух изображений в пределах небольших участков площадью  $3 \times 3$ — $5 \times 5$  см ( $100$ — $175$  км<sup>2</sup>) по «жестким» (т. е. не изменившимся) контурам. На анализируемой территории такими контурами оказались основные обвалованные рукава Дуная, рисунок которых на снимках и на карте полностью совпадает.

Чтобы избежать искажений, вызываемых кратковременными сезонными изменениями различных объектов суши при анализе вековых изменений дельтовой равнины, мы проанализировали эти сезонные изменения по космическим снимкам, относящимся к разным датам. В нашем распоряжении были снимки со спутника «Ландсат» за сентябрь 1972 г., относящиеся к очень сухому периоду, и снимки с орбитальной станции «Салют-4» за июнь 1975 г., относящиеся к влажному периоду, вскоре после наводнения на Дунае. Сравнение производилось с помощью «Интерпретоскопа», позволяющего рассматривать два снимка при различном увеличении, что дало возможность привести их к одному масштабу и иметь оба изображения в одном поле зрения «наложенными» одно на другое. Выяснилось, что контуры казалось бы наиболее сезонно динамичной группы объектов — озер в плавнях — на снимках за эти периоды совпадают. Таким образом, сезонные изменения не мешают производить анализ динамики дельты за долговременный период.

Сравнительный анализ снимка и карты позволяет проследить изменения береговой линии моря, рек, озер, плавней, песков, сельскохозяйственных земель. Они отображены на схеме (рис. 2), матричная легенда которой (рис. 3) дает возможность легко определить как неизменившиеся элементы, так и характер изменений каждого участка дельты. Изменения площадей, занятых различными типами территории в дельте, определенные путем картометрических измерений по составленной схеме, представлены в таблице. Кроме того, на схеме отражены и изменения линейных элементов гидрографии; выделены береговые линии моря

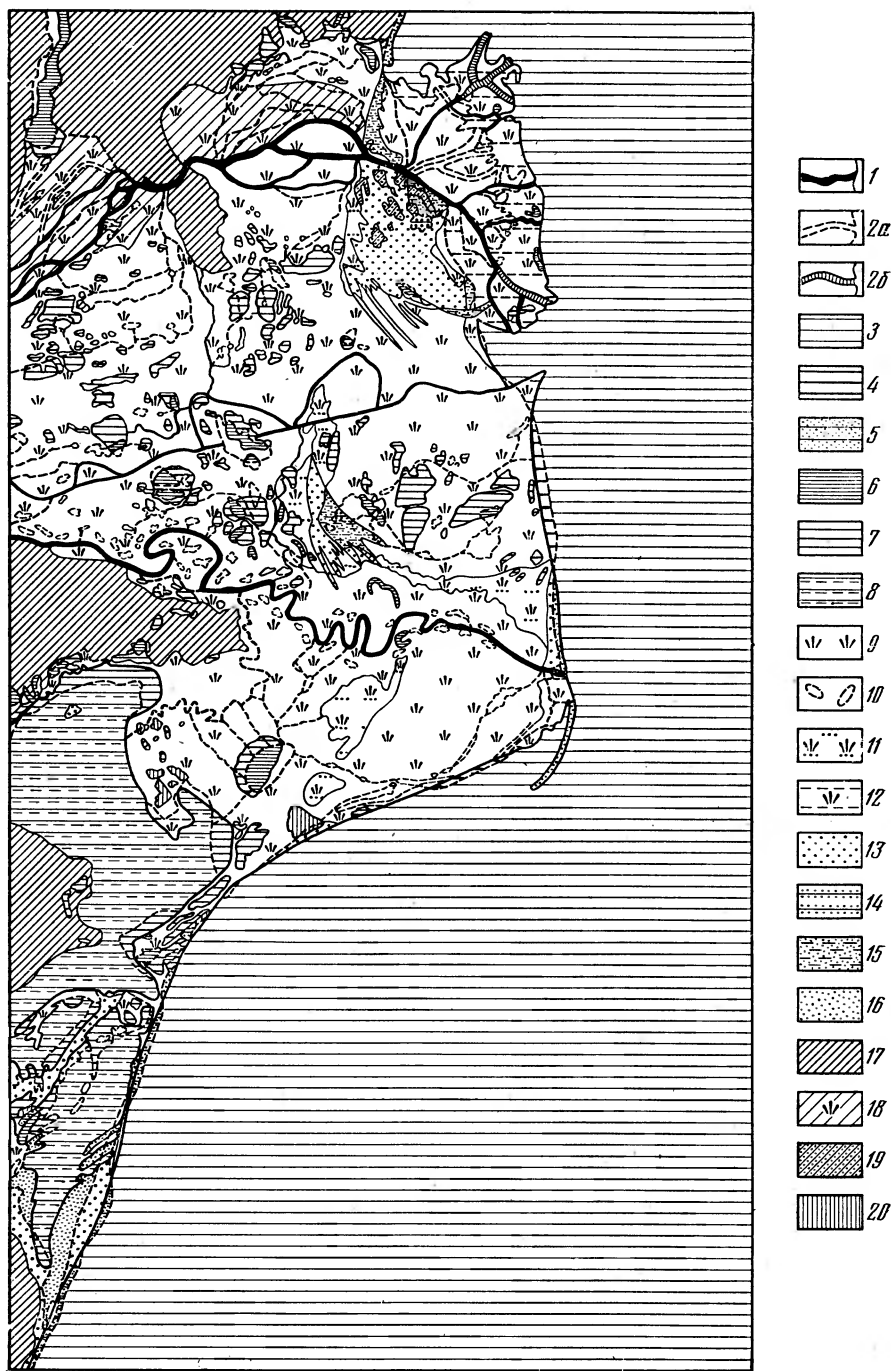


Рис. 2. Результаты сопоставления изображения дельты Дуная на космических снимках 1972 г. и картах 1888 г.

1 — неизменившиеся очертания береговой линии моря, озер, рек; 2 — изменившиеся очертания береговой линии моря, озер, рек (а — не прослеживающиеся на снимках элементы гидрографии 1888 г., б — вновь появившиеся элементы гидрографии 1972 г.); 3 — участки моря, изображение которых на снимке и на карте совпадает; 4 — участки моря, появившиеся на месте плавней; 5 — участки моря, появившиеся на месте песков; 6 — озера, изображение которых на снимке и на карте совпадает; 7 — озера, появившиеся на месте плавней; 8 — озера, появившиеся на месте моря (морские лагуны, превратившиеся в озера, и озера на вновь образовавшихся участках дельты); 9 — плавни, изображение которых на снимке и на карте совпадает; 10 — плавни, появившиеся на месте озер; 11 — плавни, появившиеся на месте песков; 12 — плавни, появившиеся на месте моря (вновь образовавшиеся участки дельты); 13 — пески, изображение которых на снимке и на карте совпадает; 14 — пески, появившиеся на месте озер; 15 — пески, появившиеся на месте плавней; 16 — пески, появившиеся на месте моря (вновь образовавшиеся участки дельты и крупные аккумулятивные береговые формы рельефа); 17 — повышенные участки террас и коренного берега, изображение которых на снимке и на карте совпадает. Антропогенные изменения: 18 — сельскохозяйственные земли, появившиеся на месте плавней; 19 — лесопосадки, появившиеся на месте песков; 20 — искусственные водоемы, появившиеся к 1972 г. на месте плавней

**Изменения площадей различных типов территорий в дельте Дуная, выявленные при сопоставлении карты 1888 г. и космического снимка 1972 г.**

Тип территории	Характер изменений	Площадь, км <sup>2</sup>	% от площади исследуемого участка
Морская акватория (в пределах исследуемого участка)	Площадь в 1888 г.	6319,1	
	Площадь в 1972 г.	5556,3	
	разность	762,8	
	Исчезновение участков морской акватории	792,8	3,87
	Появление участков морской акватории	29,8	0,54
Водотоки	Площадь в 1888 г.	120,0	2,17
	Площадь в 1972 г.	101,4	1,83
	разность	18,6	0,34
	Исчезновение водотоков	25,9	0,47
	Появление водотоков	7,3	0,13
Озера	Площадь в 1888 г.	156,7	2,84
	Площадь в 1972 г.	873,0	15,78
	разность	-716,3	-12,94
	Исчезновение озер	103,1	1,87
	Появление новых озер	819,4	14,81
Плавни	Площадь в 1888 г.	3460,4	62,55
	Площадь в 1972 г.	3323,0	60,06
	разность	137,4	2,49
	Исчезновение участков плавней	553,2	10,00
	Появление новых участков плавней	415,8	7,51
Пески	Площадь в 1888 г.	327,0	5,91
	Площадь в 1972 г.	246,1	4,45
	разность	80,9	1,46
	Исчезновение участков песков	165,9	3,00
	Появление участков песков	85,0	1,54
Сельскохозяйственные угодья и другие антропогенные объекты	Площадь в 1888 г.	678,0	12,25
	Площадь в 1972 г.	942,8	17,04
	разность	-264,8	-4,79
	Появление сельскохозяйственных угодий и других антропогенных объектов	264,8	4,79

и озер; участки русел, не изменившие плановых очертаний за прошедший период, а для изменившихся участков указано их положение на обе даты.

Схема и таблица изменений в дельте Дуная, зафиксированных в результате сопоставления съемочных и картографических материалов, дают материал для качественного и количественного анализа этих изменений и установления основных процессов развития дельты, динамики гидросети, береговой линии, дельтовых ландшафтов.

Анализ изменений дельты почти за 100 лет показывает, что главные черты строения речной сети характеризуются значительной устойчивостью. Очертания главных русел Дуная и их крупных ответвлений практически не изменились. Их стабильность связана с мероприятиями по обвалованию основных русел, проводимыми с середины прошлого века в порядке борьбы с наводнениями, а также с особенностями функционирования главных дельтовых водотоков.

Наряду с этим одной из закономерностей развития речной сети Дунайской дельты, как и многих других дельт, является постепенное отмирание более мелких водотоков по мере ее горизонтального роста и развития. Можно отметить отмирание небольших протоков в устьевой части

На карте На 1888 г. схемке 1972 г.	Море	Озера	Плавни	Пески	с/х земли
Море	—	—	—	—	—
Озера	—	—	—	—	—
Плавни	—	—	—	—	—
Пески	—	—	—	—	—
с/х земли	—	—	—	—	—

Рис. 3. Матричная легенда к схеме изменений в дельте Дуная с 1888 по 1972 г.

Килийского гирла, что связано с быстрым выдвиганием дельты в море и сосредоточением твердого и жидкого стока в главном русле. Отмирают также небольшие водотоки, дренировавшие озерно-плавневую область дельты, соединявшие озера и болота в единую проточную систему. Эти водотоки постепенно потеряли связь с главными руслами и с морем, в которое некогда впадали. Общая площадь исчезнувших водотоков составляет около 26 км<sup>2</sup>.

В озерно-плавневой зоне дельты Дуная отмечаются наиболее значительные изменения. На площади 103 км<sup>2</sup> наблюдается исчезновение озер. Исчезло большое количество старичных озер, располагавшихся вдоль Георгиевского гирла, что является естественным последствием обвалования русел. Контуры озер в междурусловых плавневых участках дельты почти полностью изменились. Исчезли многие крупные озера, соединявшиеся с Дунайскими гирлами или морем; постепенно обмелев, они заросли плавневой растительностью. Другие крупные озера изменили свою конфигурацию и площадь. Появилось много новых крупных озер, главным образом в пониженных междурусловых участках плавней. Их площадь составляет 241 км<sup>2</sup>. Кроме того, появились крупные озера лиманного типа на месте отчленившихся морских заливов (578 км<sup>2</sup>).

В целом в пределах дельты Дуная с 1888 г. произошло увеличение суммарной площади озер на 716 км<sup>2</sup>. Это связано, по всей вероятности, с особенностями тектонического режима района дельты. В настоящее время, как свидетельствует Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы (1973), происходит опускание территории дельты со скоростью около 2 мм/год. Компенсация отрицательных движений земной коры осадконакоплением отмечается лишь в районе современной Килийской дельты, тогда как другие районы дельтовой равнины вследствие локализации наиболее активной аллювиальной аккумуляции в северо-восточной части дельты, вероятно, испытывают некомпенсированное погружение. По-видимому, этим объясняется увеличение озерности территории.

Интересная черта динамики дельты — исчезновение нескольких сухих «песчаных островов» — древних береговых баров, кос, веерообразно располагавшихся вдоль древних береговых линий в юго-восточной части дельты и занимавших площадь 146 км<sup>2</sup>. На карте 1888 г. показано, что по этим песчаным массивам проходили дороги, на них располагались хутора, небольшие населенные пункты. Снимок 1972 г. свидетельствует о том, что теперь эти участки заболочены, заняты плавневой растительностью, распределение которой позволяет проследить рисунок бывших песчаных грив, ныне погруженных под воду. Подтопление некогда сухих песчаных массивов в юго-восточной части дельтовой равнины также, вероятно, связано с общим опусканием территории.

При рассмотрении современного побережья дельтовой равнины Дуная отмечается резкое различие в строении ее берегов. Выделяются три различных участка: Килийская активная дельта, абразионно-аккумулятивный берег от Сулинского до Георгиевского гирла и лагунно-лиманный к юго-западу от Георгиевского гирла (Зенкович, 1946).

Участок берега в Килийской дельте характеризуется быстрыми темпами роста суши, около 50—80 м/год и общим нарастанием дельты на 175 км<sup>2</sup>. Быстрый рост и особое геоморфологическое строение этой части дельты определяется тем, что по Килийскому рукаву проходит около 70% твердого и жидкого стока Дуная, что наряду с благоприятными условиями на предустьевом взморье предопределяет ведущую роль аккумуляции аллювия в процессе дельтообразования. Главные активные русла в Килийской дельте — Старостамбульское гирло и самое северное Очаковское гирло, причем наиболее мощным является второе. На снимке хорошо видно, что именно по нему осуществляется основной транзит твердого материала. На составленной схеме выделяются наиболее динамичные участки Килийской дельты, расположенные по северо-восточному побережью дельтовой равнины Дуная. Это связано с активной аллювиальной аккумуляцией наносов в устье Очаковского гирла и с перемещением на юг вдоль берегового потока наносов при ветрах северных румбов. Отмирание некоторых мелких протоков привело к активизации морских процессов и абразии некоторых участков Килийской дельты.

Второй участок — от Килийской дельты до Георгиевского гирла — характеризуется действием абразионно-аккумулятивных процессов. На этом участке, где отсутствует аллювиальная аккумуляция Дунайских русел, дельтовая равнина находится под воздействием абразионных процессов, обусловленных деятельностью морских волнений, сгонно-нагонных явлений и т. п.). Приглубое взморье не оказывает деформирующего воздействия на волны, которые абрадируют берег, образуя хорошо выраженный клиф и пляжевую зону. Южнее развиты аккумулятивные формы рельефа — береговые косы, бары (например, в устье Георгиевского гирла), в формировании которых принимают участие аллювиальные и морские отложения, перемещающиеся под воздействием вдольбереговых течений с севера на юг. Сопоставление очертаний этого участка на карте и на снимке обнаруживает отступление берега за 100 лет почти на 1000—1500 м, т. е. со скоростью около 10—15 м/год.

Третий участок представляет собой лагунно-лиманый берег. Крупные аккумулятивные формы типа баров, кос и пересыпей отделили от моря лагуны, постепенно утратившие связь с морем. На составленной карте можно видеть, что некогда крупный залив Разим отделился от моря и превратился в лагуну, конфигурация береговой линии которой постепенно изменялась. Отмечается увеличение площади озера, связанное с тем, что сток в него продолжается, а связь с морем потеряна.

По карте можно проследить и изменения, связанные с антропогенным воздействием, с активным освоением земель дельты. Более половины советской части дельты в районе плавней (243 км<sup>2</sup>) ныне осушено и



используется в сельском хозяйстве. Здесь созданы Килийская и Лисковская рисовые системы.

Проведенная работа свидетельствует о том, что космические снимки представляют хороший материал для изучения многолетней динамики дельтовых областей. Обеспечение в будущем территорий дельт сериями одновременных снимков, близких по качеству, должно еще более расширить эти возможности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М., ГУГК, 1973.
- Зенкович В. П. Динамика и морфология морских берегов, ч. 1. М.—Л., 1946.
- Николаев В. А., Кравцова В. И., Маркова Т. А. Использование снимков с ресурсного спутника ЕРТС для ландшафтного картографирования и анализа динамики ландшафтов. В сб. «Исследование природной среды космическими средствами». М., «Наука», 1976.
- Салищев К. А. Основы картоведения. Историческая часть. М., Геодезиздат, 1943.
- Самойлов И. В. Устья рек. М., Географгиз, 1952.
- Coteț P. Geomorfologia României. București, Editura tehnica, 1973.

Московский государственный  
университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
6.VII.1977

---

#### DANUBE DELTA DYNAMICS STUDY USING SPACE SURVEY DATA

V. I. KRAVTSOVA, L. A. USHAKOVA, T. I. CHEKALINA

#### Summary

Dynamics of the Danube delta is characterised within time interval of about 100 years using comparison of space photographs ERTS 1972 and topographic maps dated 1888. Analysis of the dynamics revealed the active growth of the Kili part of the delta, marine abrasion and coasts' retreat between the Kili delta and Georgiev strait, sea lagunes damming at the south of the delta. The inner (lakes and marshes) part of the delta is characterised by increase in water supply which indicates the area's subsidence.

---

УДК 551.4.042

С. М. МЯГКОВ, Е. С. ТРОШКИНА, Т. А. САЛОВА

#### ОСЫПНЫЕ И ЛАВИННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СОЗДАВАЕМЫЕ ИМИ АККУМУЛЯТИВНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА

Снежные лавины и осыпание обломочного материала — тесно соседствующие процессы денудации горных склонов. Сравнительный анализ топографических условий действия этих процессов и особенностей создаваемых ими аккумулятивных форм рельефа полезен для уточнения закономерностей эволюции горных склонов и для оценки лавинной опасности. Попытке такого анализа посвящена данная статья, основанная на