

УДК 528.8+551.468.2:913

В.А. Михайлов

Развитие и динамика береговых аккумулятивных форм залива Сиваш

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Таврическая академия (структурное подразделение), г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация
e-mail: mikhailov_vl@mail.ru

Аннотация. Проанализированы особенности происхождения, развития и современной динамики береговых аккумулятивных форм залива Сиваш (Азовское море). Выявлены факторы их формирования (конфигурация побережья, особенности гидродинамики и направления господствующих ветров, наличие наносов, деятельность человека). Представлены скорости роста свободных и отчлененных береговых форм.

Ключевые слова: Сиваш, Азовское море, лагуна, берег, аккумулятивная форма, морфология, дистанционное зондирование.

Введение

Одной из самых важных особенностей залива Сиваш (Азовское море) является значительная изрезанность его побережья. Кроме ингрессионного происхождения, эти особенности связаны с широким распространением в пределах акватории залива береговых аккумулятивных форм. Разнообразие условий их формирования — изначальная сложность очертаний, небольшие глубины, наличие достаточного объема прибрежно-морских наносов — обусловило не только значительные различия в их морфологии, но и динамике. Если берега Сиваша вообще и береговые аккумулятивные формы в частности описаны в литературе [1, 2, 3, 4, 5], то особенности происхождения и динамики этих форм практически не изучены. Это и определило актуальность данного исследования.

Материалы и методы

Все разнообразие береговых аккумулятивных форм залива Сиваш можно свести к нескольким классам (согласно морфологической классификации аккумулятивных форм В.П. Зенковича (1962): примкнувшие, свободные, окаймляющие, замыкающие, отчленённые (Рис. 1). Формы в пределах каждого из них отличаются значительным разнообразием морфологии и размеров, а также особенностями происхождения, развития и современной динамики. Для анализа этих особенностей в работе были рассмотрены факторы формирования береговых аккумулятивных форм, проанализированы картографические материалы и данные дистанционного зондирования (спутниковые снимки высокого разрешения).

К важнейшим факторам формирования береговых аккумулятивных форм залива Сиваш относятся: конфигурация побережья, особенности гидродинамики и направления господствующих ветров, наличие наносов.

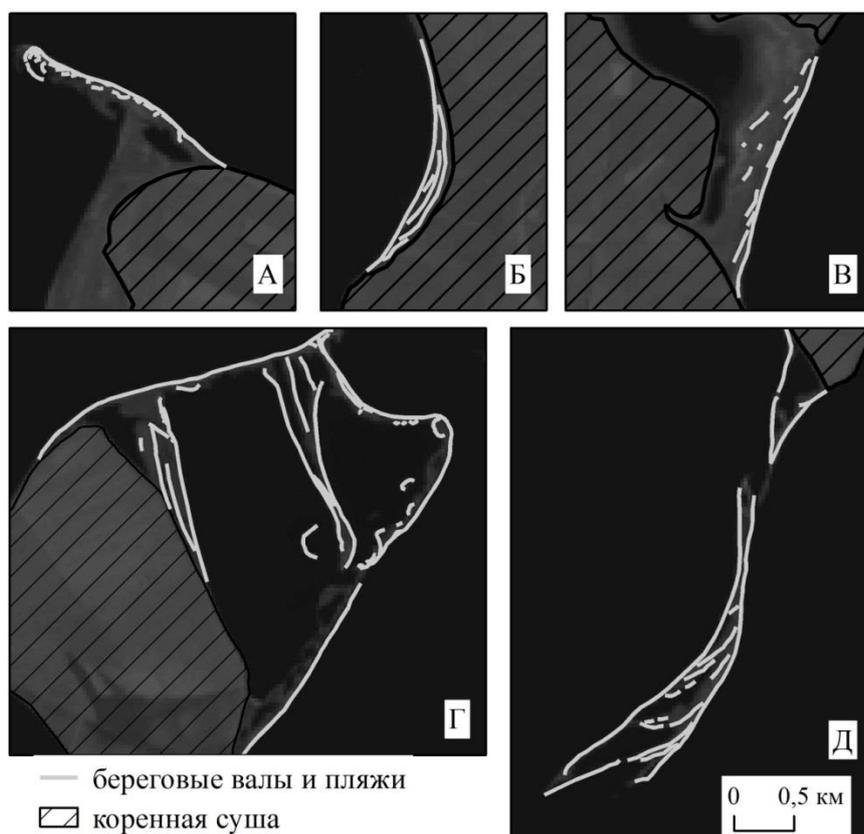


Рис. 1. Примеры береговых аккумулятивных форм залива Сиваш различных классов (согласно классификации В. П. Зенковича (1962):
А – свободные, Б – примкнувшие, В – замыкающие, Г – окаймляющие, Д – отчленённые.

Конфигурация побережья Сиваша характеризуется значительной изрезанностью и протяженностью: при относительно небольшой площади залива (2500 км²) длина его береговой линии очень велика (более 1000 км). Если учесть современные лагунные озера, отчлененные от Сиваша пересыпями, то эти показатели будут существенно больше (особенно в Восточном Сиваше). Такая изрезанность побережья обуславливает условия отложения береговых наносов: в устьях небольших заливов и на перегибах береговой линии.

Характер прибрежно-морских наносов в Сиваше отражает особенности геологического строения прилегающей суши. В геологическом строении дневной поверхности примыкающих к Сивашу Присивашской (Крымский полуостров) и Причерноморской низменностей принимают участие четвертичные эолово-делювиальные лессовидные суглинки мощностью до 30–40 м, а также голоценовые лиманно-морские отложения. Лессовидные суглинки слабо сопротивляются абразии (III класс согласно классификации О.К.Леонтьев), однако несмотря на это они не дают наносов волнового поля. Слагающие их частицы участвуют в образовании донных илов и ветровых осушек различных типов (механическое осадконакопление) [2, 3].

Помимо продуктов разрушения лессовидных суглинков, источником прибрежно-морских наносов являются раковины моллюсков (преимущественно *Cerastoderma glaucum*, в меньшей степени *Abra ovata* и *Mytilaster lineatus*), которые в наибольшем количестве встречаются в менее засоленных, связанных с

морем, частях залива. Поэтому биогенное осадконакопление распространено в пределах Восточного, Южного и в меньшей степени Среднего Сиваша. До значительного опреснения Сиваша в результате строительства во второй половине прошлого века на прилегающей территории дренажно-коллекторной сети, наносообразующие моллюски отмечались лишь в северной части Восточного Сиваша [7].

Гидродинамические особенности акватории залива Сиваш определяются его конфигурацией (наличие отдельных частей и расширений (водоемов), многочисленных заливов и проливов) и его мелководностью. В таких условиях происходит трансформация ветрового волнения в сгонно-нагонные явления, особенно отчетливые в мелководных частях Сиваша, сопровождаемые дрейфовыми (ветровыми) течениями. При нагонах уровень обычно повышается на несколько десятков сантиметров, а их продолжительность достигает 10–13 дней; сгонные явления, как правило, непродолжительны (2–3 дня). Именно с таким типом циркуляции связан вынос в полосу, прилегающую к береговой линии, илистых частиц (продуктов разрушения лессовидных суглинков), а также ракуши, детрита и ракушечного песка. Кроме того, в пределах акватории Сиваша действуют стоковые течения, возникающие из-за разностей уровней отдельных частей Сиваша вследствие интенсивного испарения (Тонкий и Чонгарский проливы, Шокалинское сужение, горловина залива Алгазы), сгонно-нагонных явлений (компенсационные течения), стока рек и временных водотоков [8, 9].

На основе численной, нестационарной гидротермодинамической модели, приведенной в [8, 9] получена гидродинамическая картина Восточной ветви залива Сиваш. Картина течений для скорости ветра 4 м/с для ветров наибольшей в регионе повторяемости (восточных, северо-восточных, западных, юго-западных) приведена на рисунке 2. Сложность конфигурации береговой линии и рельефа дна приводит к меандрированию струи и образованию локальных вихревых структур (крупнейших — в Южном Сиваше). Ветра продольного (по отношению в водоёмам (расширениям) и заливам Сиваша) направления сопровождаются наиболее интенсивными течениями в прибрежной зоне, а также в некоторых проливах соответствующей ориентации. Устойчивые ветра приводят к нагонным явлениям и как следствие повышению уровня в определенной части лагуны. Наиболее значительные подъемы уровня связаны с наиболее сильными ветрами восточных румбов (при скорости ветра 10 м/с — до 35–40 см), что сопровождается затоплением обширных низменных пространств и аккумуляцией прибрежно-морских наносов.

Определённую роль в формировании береговых аккумулятивных форм играет антропогенный фактор, который проявляется в следующем. Перегораживающие акваторию Сиваша дамбы (особенно крупные — железнодорожная, Биюк-Найманская, Кугаранская) являются барьером, улавливающим перемещающиеся по мелководью песчано-ракушечные наносы; в результате этого у основания дамб сформировались треугольные в плане аккумулятивные террасы. Поступление большого количества пресных дренажных вод в Сиваш из оросительной системы Северо-Крымского канала (после 1974 г.) и как следствие его опреснение привело к развитию вблизи устьев балок в вершинах заливов, ранее имеющих вид ветровых осушек, тростниковой растительности (тростник южный (*Phragmites australis*), ситник морской (*Juncus maritimus*), ситник Жерара (*J. gerardii*), клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus*) [10] и формирования тростникового берега. Кроме того, приближение минерализации вод Сиваша к морской воде способствовало большему развитию и поступлению из Азовского моря наносообразующих моллюсков.

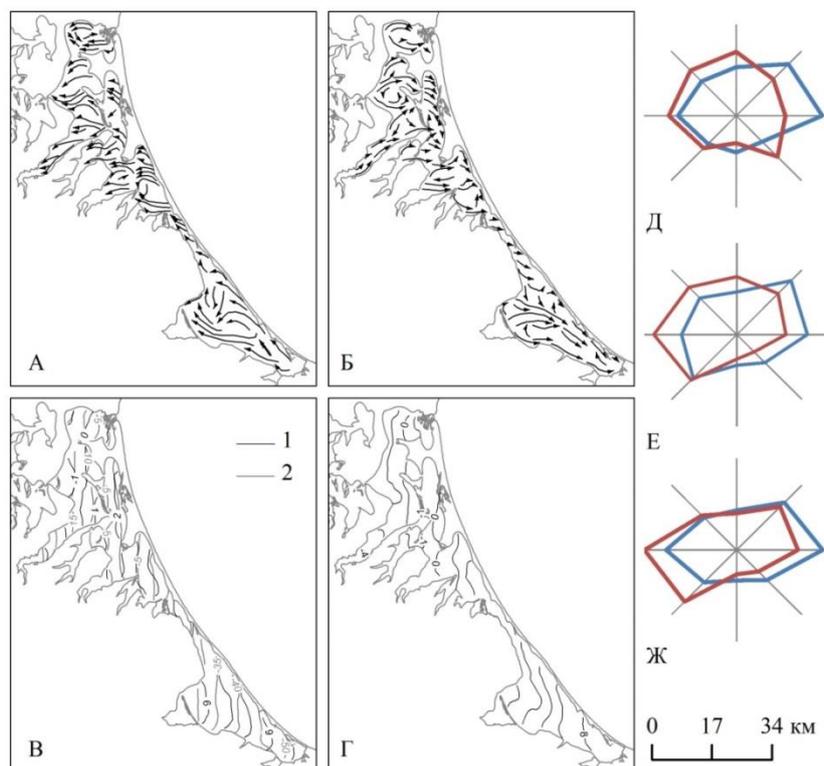


Рис. 2. Поверхностные течения и колебания уровня (см) в заливе Сиваш при ветрах различных направлений ([8, 9], генерализовано).
 Направления течений при скорости ветра 4 м/с: А – восточных, Б – западных; Повышение уровня: В – при восточных ветрах (скорость ветра: 1 – 4 м/с, 2 – 10 м/с); повторяемость направлений ветра для января (синим) и июля (красным): Д – Геническ, Е – Джанкой, Ж – Нижнегорский.

Использованные в работе для изучения развития аккумулятивных форм картографические источники охватывают промежуток более 200 лет. Информативностью, достаточной для изучения особенностей береговой линии Сиваша, обладают только картографические материалы конца XVIII–XIX века; более древние карты изображают побережье залива очень условно.

Для изучения современной динамики наиболее динамичных свободных и отчлененных береговых аккумулятивных форм использовать многозональные спутниковые снимки, полученные со спутников Landsat 5 и Landsat 8, размещенные в свободном доступе в сети Интернет. Снимки имеют высокое пространственное разрешение, при этом размер пикселей этих снимков сопоставим с величиной межгодовой изменчивости береговых линий, что обеспечивает относительную точность расчетов. Пространственная привязка снимков позволяет сопоставлять разновременные материалы. Для анализа отбирались спутниковые снимки с 1977 по 2017 гг., выполненные в поздневесенний, летний и раннеосенний период, когда повторяемость сгонно-нагонных явлений незначительна и конфигурация береговой линии более постоянна.

Результаты и обсуждение

Анализ всех материалов позволил выявить некоторые особенности и закономерности развития береговых аккумулятивных форм залива Сиваш.

Береговые аккумулятивные формы залива Сиваш являются относительно молодыми образованиями. История их формирования связана с баром Арабатская стрелка, возникновение которого способствовало отчленению реликтового ингрессионного побережья западной части Азовского моря. Согласно наиболее обоснованным представлениям [11], возникновение современного бара Арабатской стрелки приходится на 1100–1200 гг. (южная, узкая часть бара более молодая). С этого времени и следует отсчитывать развитие береговых аккумулятивных форм в пределах отчлененного залива-лагуны. Это развитие происходило как путем последовательного наращивания дистального конца у свободных и отчлененных форм, так и путем увеличения ширины (у пересыпей, аккумулятивных террас).

В процессе развития аккумулятивные формы могли значительно изменять свою конфигурацию и перестраиваться в зависимости от внешних условий, например, из-за отступления прилегающих размываемых (абразионных) участков. Так, некоторые пересыпи Восточной ветви Сиваша, судя по характеру береговых валов ранних генераций, развивались изначально как косы (Рис. 3А). Их перестроение и смещение происходило синхронно с отступанием примыкающих абразионных участков берега. Аккумулятивная форма, отделяющая залив Алексеевская засуха, в настоящее время имеет вид пересыпи (длина 8,5 км) с прораной в северной части, но как указывают Е.И. Игнатов, С.А. Лукьянова, В.И. Мысливец (1996), она является баром (Рис. 3Б).



Рис. 3. Перестроение и изменение морфологии береговых аккумулятивных форм залива Сиваш в процессе развития

А – пересыпь озера в восточной части полуострова Тюп-Джанкой, Б – пересыпь (бар) залива Алексеевская засуха.

Анализ разновременных картографических источников показал, что до середины XIX века аккумулятивные береговые формы на них отсутствуют или изображены только свободные (косы) и отчлененные (острова) формы (Рис. 4.); на месте озер, отделенных современными пересыпями, показаны заливы. На более поздних и более точных картах косы и аккумулятивные острова показаны более точно (за некоторым исключением), присутствуют пересыпи и примкнувшие формы (террасы). Т. е. формирование аккумулятивных форм, вероятнее всего, происходило на протяжении всего времени формирования залива-лагуны, и начиналось с образования простейших форм (кос, террас) у выступов и неровностей берега, а затем образования форм в устьях заливов.

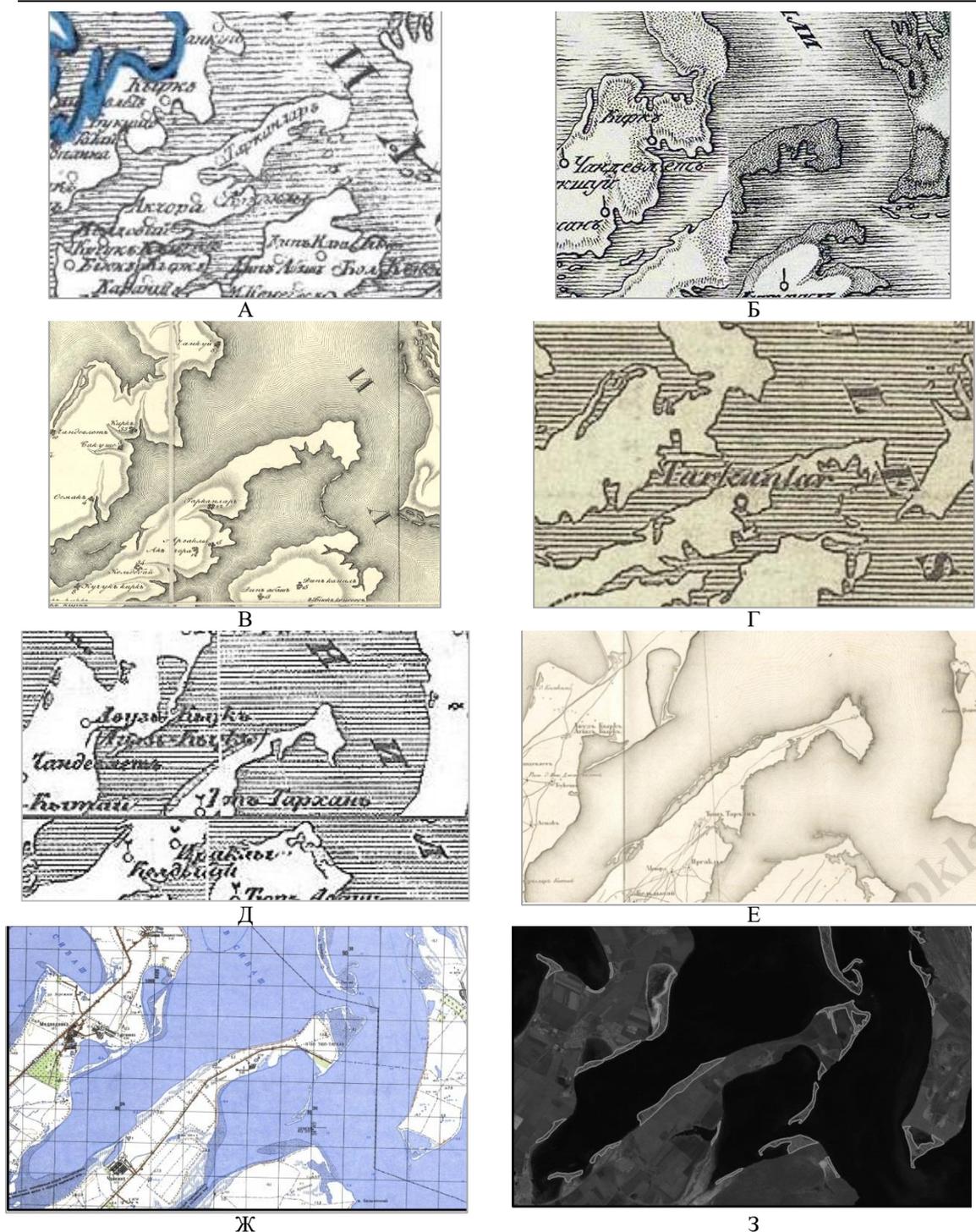


Рис. 4. Изображение береговых аккумулятивных форм Восточного Сиваша на старинных и современных картах:

А–1792 год, Карта Таврической области из атласа горного училища; Б–1800 год, Подробная милитерная карта по границе России с Турциею; В–1817 год, Военная топографическая карта полуострова Крым; Г–1854 год, карта Крымского полуострова авторства Леопольда Соммера; Д–1847 год; Генеральная карта полуострова Крыма; Е–1875 год, Карта Таврической губернии, масштаб 1:126 000 («трехверстовка»); Ж–1998 год (состояние местности на 1987 год), топографическая карта, масштаб 1:100 000; З–современный спутниковый снимок высокого разрешения (оконтурены береговые аккумулятивные формы).

Оценка современной динамики наиболее изменчивых свободных и отчленённых форм выполнялась путем анализа спутниковых снимков. В ходе визуального анализа ключевых аккумулятивных форм, выявленных на предварительном этапе, на снимках были отдешифрованы разновременные береговые линии. Учитывались главным образом «внешние», более устойчивые береговые линии. Всего проанализированы береговые линии 14 свободных и отчлененных форм в акватории Восточного, Среднего и Южного Сиваша. Положение выявленных береговых линий и определение скорости их роста выполнялось в результате их оцифровки и вычисления длины полученных линий, значения которых аппроксимировались линейной функцией. Результаты оценки скорости роста свободных и отчлененных аккумулятивных форм на современном этапе представлены на рисунке 5.

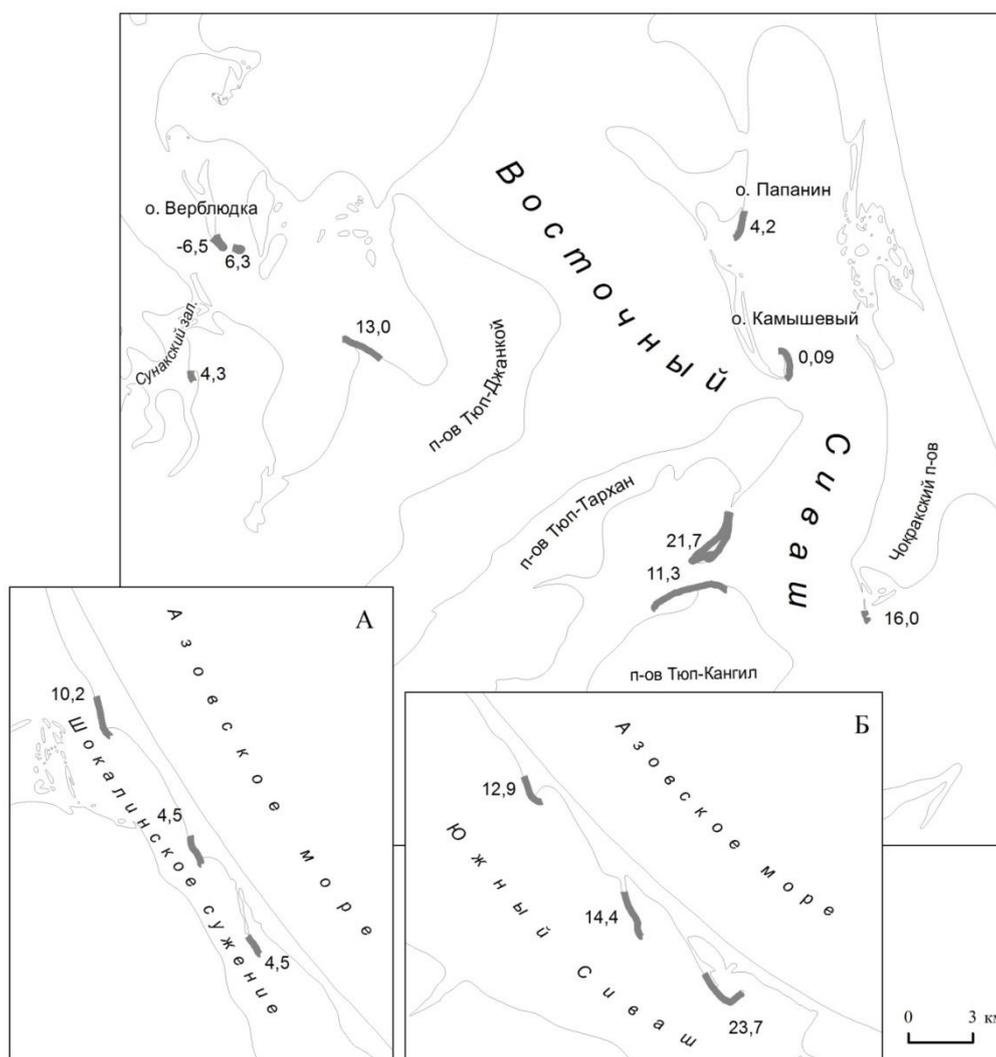


Рис. 5. Скорость роста дистального конца свободных аккумулятивных форм берегов Среднего и Восточного Сиваша за период с 1977 по 2017 гг.

На современном этапе для свободных и отчленённых аккумулятивных форм отмечаются различные тенденции, но для большинства отмечается рост, который проявляется в удлинении дистального конца при общем сохранении направления и ширины формы. Усредненные скорости роста дистального конца

аккумулятивных форм изменяются от 0,1 до 21,7 м/год, а для кос «азовского типа» побережья Арабатской стрелки — от 4,5 до 23,7 м/год; только для формы на южной оконечности острова Верблюдка отмечается уменьшение длины дистального конца.

Наибольшая скорость характерна для форм, дистальные концы которых вытянуты в секторе с юго-юго-востока до запад-северо-запада, а также на северо-восток. Эти направления, в общем, соответствуют основному простираанию заливов и отдельных частей Сиваша («расширений»), а также направлениям господствующих над акваторией Сиваша ветров (восточных и северо-восточных, западных и юго-западных). В отчлененных акваториях залива с повышенной соленостью и, как следствие, невысокой биомассой нанообразующих моллюсков, скорости роста форм незначительны (например, в Сунакском заливе 3,7 м/год). Однако в Южном Сиваше и Шокалинском сужении, также с повышенной соленостью (до 40–45‰ против 20–30‰ в Восточном Сиваше), наблюдается обратная картина: для распространенных здесь кос «азовского типа» скорость роста в общем увеличивается с продвижением на юг. В Южный Сиваш происходит занос ракуши и детрита течениями из Шокалинского сужения, а также вынос детритусового материала с бара Арабатская стрелка.

Скорости роста аккумулятивных форм могут значительно отличаться в отдельные годы. Более подробно изучена аккумулятивная форма, расположенная в северной части полуострова Тюп-Кангил. Коса примыкает к северному мысу полуострова и, сделав дугу, тянется параллельно его северо-западному берегу в направлении верховий Князевского залива. Коса имеет устойчивую тенденцию к росту, вместе с тем в отдельные периоды отмечалось сокращение ее длины косы; в период с 1975 по 2014 гг. усредненная скорость роста дистального конца составила 10,5 м/год, а с 2014 по 2017 гг. она увеличилась, до 25,2 м/год.

Выводы

Таким образом, в пределах залива Сиваш отмечается большое разнообразие береговых аккумулятивных форм различных классов, сложенных наносами ветрового поля (примкнувшие, свободные, окаймляющие, замыкающие, отчленённые), а также илистыми ветровыми осушками. Важнейшими факторами их формирования явились: конфигурация побережья (значительная изрезанность его обуславливает условия отложения береговых наносов в устьях небольших заливов и на перегибах береговой линии), особенности гидродинамики (сгонно-нагонная циркуляция) и направления господствующих ветров (восточных румбов, поперечных простираанию лагуны), наличие наносов (продукты разрушения раковин моллюсков). Определенную роль в развитии аккумулятивных форм играет деятельность человека (механические барьеры для наносов, изменение условий существования нанообразующих моллюсков, формирование тростникового типа берега).

Происхождение береговых аккумулятивных форм связано с возникновением залива Сиваш в результате образования бара Арабатская стрелка около 1100–1200 гг. С этого времени развитие форм происходило путем выдвижения форм в акваторию и увеличения их ширины, при этом в начале образовывались простейшие формы — косы, террасы, а затем пересыпи в устьях заливов. Современная динамика оценивалась на примере свободных и отчлененных береговых аккумулятивных форм по

спутниковым снимкам высокого разрешения. Усредненные скорости роста дистального конца аккумулятивных форм изменяются от 0,1 до 21,7 м/год, а для кос «азовского типа» побережья Арабатской стрелки — от 4,5 до 23,7 м/год. Максимальные скорости характерны для форм, вытянутых вдоль основного простираения заливов и отдельных частей Сиваша, а также в соответствии с направлением господствующих ветров. В акваториях залива с повышенной соленостью и невысокой биомассой наносообразующих моллюсков, скорости роста незначительны.

Работа выполнена по результатам реализации проекта Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «ГИС-Ландшафт — Технологии и методики формирования геопорталов современных ландшафтов регионов» в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева».

Литература

1. Шустов Б.С. Восточный Сиваш и его берега // Ученые записки МГУ. 1938. Вып. 19. География. Т. II «Берега». С. 103–114.
2. Леонтьев В.К., Леонтьев О.К. Основные черты геоморфологии Сивашской лагуны // Вестник МГУ. Серия «География». 1956. №2. С. 185–194.
3. О характере берегов Сиваша // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2007. Т. 20 (59). №2. С. 322–332.
4. Михайлов В.А. Свободные и отчлененные береговые аккумулятивные формы залива Сиваш // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». Т. 27 (66). №2. 2014. С. 65–74.
5. Игнатов Е.И., Лукьянова С.А., Мысливец В.И. Береговые аккумулятивные формы Сивашской лагуны, Крым // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Симферополь, 3-8 октября 2016 г. Симферополь, 2016. Том 1. С. 251–255.
6. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
7. Антоновський О.Г., Крутікова О.О. Динаміка макрзообентосу Східного Сиваша в умовах гідроекологічних змін // Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки, 2012, №3, С. 96–103.
8. Совга Е.Е., Ерёмина Е.С., Хмара Т.В. Водный баланс залива Сиваш в условиях изменчивости природно-климатических и антропогенных факторов // Морской гидрофизический журнал. Т. 34, №1. С. 71–81.
9. Отчет по проекту РФФИ № 16-45-910582 «Влияние перекрытия Северо-Крымского канала на состояние акватории залива Сиваш». ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», 2017.
10. Багрикова Н.А. Современное состояние растительного покрова Крымского Присивашья и перспективы охраны // Современное состояние Сиваша. Сборник научных статей. К.: Wetlands International — АЕМЕ, 2000. С. 27–37.
11. Стащук М.Ф., Супрычев В.А., Хитрая М.С. Минералогия, геохимия и условия формирования донных отложений Сиваша. К.: Наукова думка, 1964. 174 с.

V. Mikhailov

Development and dynamics of coastal accumulative forms of Sivash Bay

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Taurida Academy, Simferopol, Republik of Crimea, Russian Federation
e-mail: mikhailov_vl@mail.ru

Abstract. *The characteristics of the origin, development and modern dynamics of coastal accumulative forms of Sivash Bay (Sea of Azov) are analyzed. The factors of their formation (configuration of the coast, hydrodynamic features and directions of the prevailing winds, the presence of sediment, human activity) are revealed. The growth rates of free and detached coastal forms are presented.*

Keywords: *Sivash, Sea of Azov, lagoon, coast, accumulative form, morphology, Sivash, Sea of Azov, lagoon, coast, accumulative form, morphology, remote sensing.*

References

1. Shustov B.S. Vostochnyy Sivash i yego berega // Uchenyye zapiski MGU. 1938. Vyp. 19. Geografiya. T. II «Berega». P. 103-114. (in Russian)
2. Leont'yev V.K., Leont'yev O.K. Osnovnyye cherty geomorfologii Sivashskoy laguny // Vestnik MGU. Seriya «Geografiya». 1956. No. 2. S. 185–194. (in Russian)
3. O kharaktere beregov Sivasha // Uchenyye zapiski Tavricheskogo universiteta im. V. I. Vernadskiy. Seriya «Geografiya». 2007. T. 20 (59). No. 2. S. 322-332. (in Russian)
4. Mikhaylov V.A. Svobodnyye i otchlenennyye beregovyye akkumulyativnyye formy zaliva Sivash // Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V. I. Vernadskiy. Seriya «Geografiya». T. 27 (66). No. 2. 2014. S. 65-74. (in Russian)
5. Ignatov Ye.I., Luk'yanova S.A., Myslivets V.I. Beregovyye akkumulyativnyye formy Sivashskoy laguny, Krym // Teoriya i metody sovremennoy geomorfologii: Materialy XXXV Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN, Simferopol', 3-8 oktyabrya 2016 g. Simferopol', 2016. T. 1. S. 251–255. (in Russian)
6. Zenkovich V. P. Osnovy ucheniya o razvitii morskikh beregov. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 710 s. (in Russian)
7. Antonovskiy O.G., Krutikova O.O. Dinamika makrozoobentosu Skhidnogo Sivasha v umovakh gidkonstruktsionnykh zinin // Visnik Zaporiz'kogo natsional'nogo universitetu. Biologichni nauki, 2012, No. 3, S. 96-103. (in Ukrainian)
8. Sovga Ye.Ye., Yeromina Ye.S., Khmara T.V. Vodnyy balans v usloviyakh izmenchivosti prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh faktorov // Morskoy gidrofizicheskyy zhurnal. T. 34, №1. S. 71–81. (in Russian)
9. Otchet po projektu RFFI № 16-45-910582 «Vliyaniye perekrytiya Severo-Krymskogo kanala na sostoyaniye akvatorii zaliva Sivash». FGAOU VO «Krymskiy federal'nyy universitet imeni V.I. Vernadskogo», 2017. (in Russian)
10. Bagrikova N.A. Sovremennoye sostoyaniye rastitel'nogo pokrova Krymskogo Prisivash'ya i perspektivy okhrany // Sovremennoye sostoyaniye Sivasha. Sbornik nauchnykh statey. K.: Wetlands International — AEME, 2000. S. 27–37. (in Russian)
11. Stashchuk M.F., Suprychev V.A., Khitraya M.S. Mineralogiya, geokhimiya i usloviya formirovaniya donnykh otlozheniy Sivasha. K. : Naukova dumka, 1964. 174 s. (in Russian)

Поступила в редакцию 23.11.2019 г.