

УДК 528.8+551.468.2:913

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ЗАЛИВА СИВАШ

Михайлов В.А.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского,  
Симферополь, e-mail: geogr1983@mail.ru*

В статье изложены результаты изучения абразионных берегов залива Сиваш по спутниковым и аэрофотоснимкам. Для анализа использовались космические снимки очень высокого разрешения, выполненные в 2011 г., и аэрофотоснимки крупного масштаба, выполненные в 1966–1969 гг. Обработка данных велась с помощью программного комплекса ArcGIS 10.0. На предварительном этапе аэрофотоснимки с помощью опорных точек были привязаны к космическим снимкам и трансформированы. В результате визуального дешифрирования космических и аэрофотоснимков для отдельных ключевых участков была выделена береговая линия и определены ее элементы. Дальнейшее определение скорости отступления клифов производилось для опорных точек. Полученные данные свидетельствуют, что скорость размыва берегов залива Сиваш для участков изменяются от 0,083 до 0,87 м/год. На некоторых участках отмечается большая изменчивость скоростей размыва, связанная с микрофестончатостью береговой линии. Полученные данные сопоставимы с результатами предварительных полевых наблюдений.

**Ключевые слова:** Сиваш, абразия берегов, ДЗЗ, дешифрирование, аэрофотоснимки, космические снимки

## USE OF DATE OF REMOTE SENSING FOR STUDY OF COAST OF BAY SIVASH

Mykhailov V.A.

*Taurida V. Vernadsky National University, Simferopol, e-mail: geogr1983@mail.ru*

This article shows the results of the study of abrasion coast of bay Sivash on satellite and to the air photos. For an analysis used the satellite photos of 2011 and air photos of large scale were used executed in 1966–1969. Processing of data was conducted by a programmatic complex ArcGIS 10.0. On the preliminary stage air photos by control points were referenced to the satellite photos and transformed. As a result of the visual decoding of satellite and air photos for separate key areas a coastline was selected and its elements are certain. Evaluation of speed of retrogression of cliffs was produced for supporting points. Findings date shows that speed of abrasion of coast of bay Sivash for various areas change from 0,083 to 0,87 m/year. On some areas there is large dispersion of speeds of abrasion that is related to festoon coastline. Findings dates are comparable with the results of the preliminary field supervisions.

**Keywords:** Sivash, abrasion of coast, remote sensing, photointerpretation, air photo, space pictures

Залив Сиваш имеет протяженную береговую линию, вблизи которой расположено множество населенных пунктов, ряд промышленных объектов, пересекают стратегические транспортные коммуникации. Однако берега залива изучены очень слабо – если морфологии посвящены относительно полные описания [3, 1, 4, 7], то информации о динамике береговых процессов практически нет, как нет системных наблюдений. В связи с этим возрастает роль дистанционных методов исследования. В данной статье представлены результаты изучения скорости размыва (абразии) берегов залива Сиваш (на примере центральной части крымского побережья), полученные в результате анализа космических и аэрофотоснимков.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются абразионные берега Сиваша – мелководного залива-лагуны Азовского моря, отделенного от последнего баром Арабатская стрелка. Ингрессионное происхождение залива (при затоплении слаборасчлененной аккумулятивной равнины) обусловило значительную протяженность береговой линии, которая по разным оценкам составляет порядка 1050 км. Формирование

берегов, сложенных податливыми лессовидными суглинками, в условиях изолированной и мелководной (преобладают глубины до 1,5 м) акватории шло преимущественном воздействии стонно-нагонной циркуляции. В результате выделилось две разновидности берегов: абразионные (размываемые) и аккумулятивные. Абразионные берега составляют почти 20% от всей протяженности берегов лагуны (без берегов Арабатской стрелки) [6] и приурочены к древним водоразделам, полуостровам («тюпам») и другим возвышенным участкам.

Морфология размываемых берегов достаточно однообразна. Активные клифы представляют собой обрывы высотой от 1–2 до 14 м, крутизной до 80–90°, которые в основании имеют небольшую волноприбойную нишу (высота 0,5–1,0 м, глубина 0,3–0,5 м). По плоскостям вертикальных трещин, постепенно перерастающих во рвы отседания шириной до 0,3–0,5 м, от клифа отчленяются столообразные призмы породы (осовы) длиной до 10 м и шириной 0,3–1,0 м. Подрезанные прибоем осовы через некоторое время падают на пляж или оседают и в дальнейшем размываются. У подножья клифов обычно формируется широкий бенч, надурезовая часть которого имеет ширину от 0,5 до 10–15 м. Наносы на бенче представлены ракушей, детритом, морскими водорослями, очень часто наносы совсем отсутствуют и лишь обвально-осыпные отложения нарушают пустынное однообразие береговой полосы.

Для изучения динамики абразионных берегов, скорость отступления которых не очень велика, исходные материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) должны быть крупномасштабными или иметь очень высокое пространственное разрешение. На снимках с высоким и средним разрешением пограничный эффект может значительно исказить данные. Разрешение имеющихся в свободном доступе разновременных многозональных космических снимков (выполненных спутником Landsat и др.) не позволяет использовать их анализа таких берегов, т.к. размеры пикселей соотносимы с элементами береговой зоны, равны и значительно больше величин отступления абразионных берегов за несколько лет. В то же время использование таких снимков для изучения берегов, скорость абразии которых составляет несколько метров в год, дает вполне правдоподобные результаты [5]. Более точные данные могут быть получены при использовании космических снимков очень высокого (0,3–0,9 м) разрешения, которые могут быть получены как за определенную плату, так и размещенных свободно на ресурсах в сети Интернет. Значительные результаты могут быть получены при анализе накопленных архивов крупномасштабных аэрофотоснимков.

Исходя из этого, для изучения абразионных берегов Сиваша было выбрано два способа. При первом способе использовались цифровые космические снимки очень высокого разрешения и аэрофотоснимки крупного масштаба. Космические снимки, выполненные с помощью спутника QuickBird, получены из общедоступного архива данных с помощью программы SASplanet. Они представляют собой мультиспек-

тральные снимки (RGB-композиции с произвольной комбинацией каналов) с пространственным разрешением 0,61 м/пиксель и географической привязкой в проекции UTM. Используемые для анализа аэрофотоснимки (сканкопии) имеют масштаб 1:25 000, и выполнены в июне-июле 1969 и 1966 гг.

Обработка и анализ материалов производился с помощью программного комплекса ArcGIS 10.0. На предварительном этапе аэрофотоснимки с помощью опорных точек были привязаны к космическим снимкам и трансформированы. При этом одной из проблем явилось отсутствие в условиях однообразного, слабо преобразованного равнинно-степного ландшафта неизменившихся постоянных объектов. Поэтому для анализа было отобрано 12 репрезентативных снимков, которые оказалось возможным совершенно четко привязать по твердо определенным опорным точкам. В результате визуального дешифрирования космических и аэрофотоснимков была выделена береговая линия и определены ее элементы. Положение клифа намечалось «вручную» в виде линейного шейп-файла. В результате получено 23 пары криволинейных отрезков длиной от 0,2 до 1,5 км, характеризующих берега различной ориентации и высоты клифа. Далее от самой ранней береговой линии строился растровый слой расстояния. Узлы линейных шейп-файлов более поздней береговой линии были преобразованы в точечные объекты; различная длина элементарных отрезков и соответственно расстояние между точками обеспечивает случайность выборки. Для полученных расчетных точек были извлечены значения расстояния, а затем в таблице атрибутов были вычислены скорости (рис. 1).

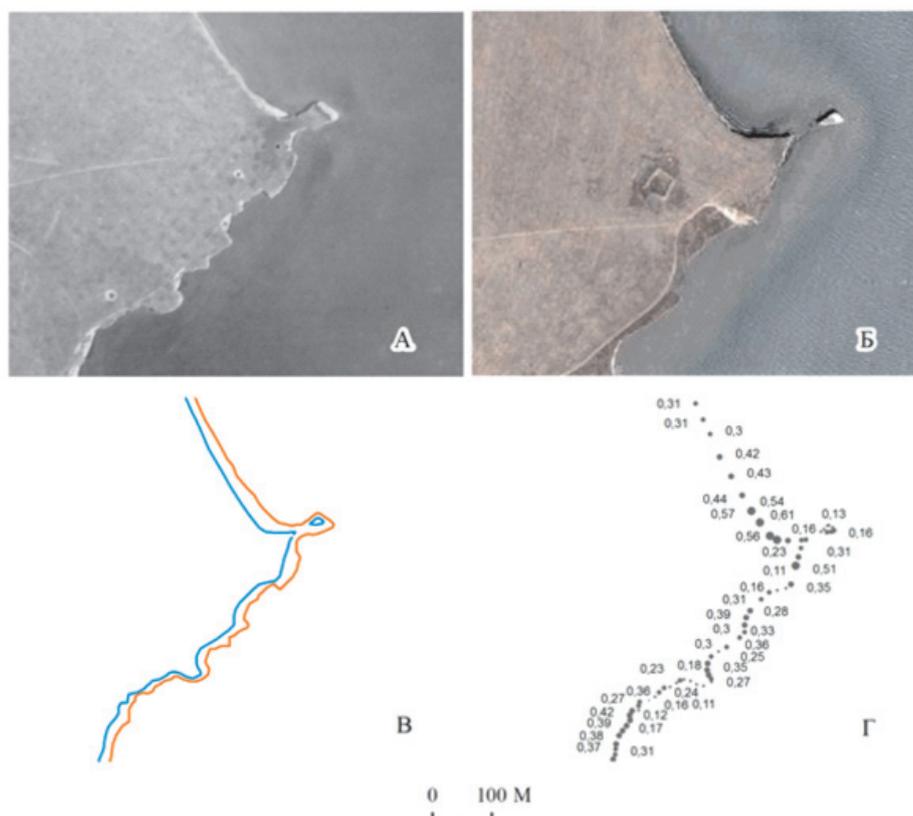


Рис. 1. Изменение береговой линии юго-восточного берега полуострова Тюп-Кангил (м. Безьямный): а – аэрофотоснимок 1969 г., б – космический снимок 2011 г., в – контуры береговой линии 1969 и 2012 гг.; г – скорость размыва берегов для расчетных точек, м/год

На некоторых участках, для которых производился такой анализ, в течение 2–4-х лет ведутся полевые наблюдения за размывом берегов. На каждом участке наблюдения проводились на трех промерных створах, с отсчетом от реперных точек.

Второй способ предусматривал сравнение разновременных мультиспектральных космических снимков, полученных со спутника Landsat 5TM, с высоким пространственным разрешением (28,5 м/пиксель) и пространственной привязкой. Предварительный анализ космических снимков производился с помощью программы ENVI 4.7. Для этого анализировались изображения, полученные в 4 и 5 каналах (инфракрасный диапазон). Снимки выполнены в поздневесенне-летний период (19 мая 1986, 6 июня 1995, 20 июля 2011), когда повторяемость спонно-нагонных явлений незначительна и конфигурация берего-

вой линии более-менее постоянна. Вначале цифровые изображения подвергались управляемой классификации, в результате которой была четко проведена граница между морем и сушей. Полученные результаты классификации были сохранены в формате шейп-файла. Дальнейшая обработка выполнена с помощью программного комплекса ArcGIS 10.0. по методике, изложенной выше для выделенных ключевых участков.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки скорости размыва берегов, полученные первым способом, а также предварительные данные полевых наблюдений, приведены на рис. 2.

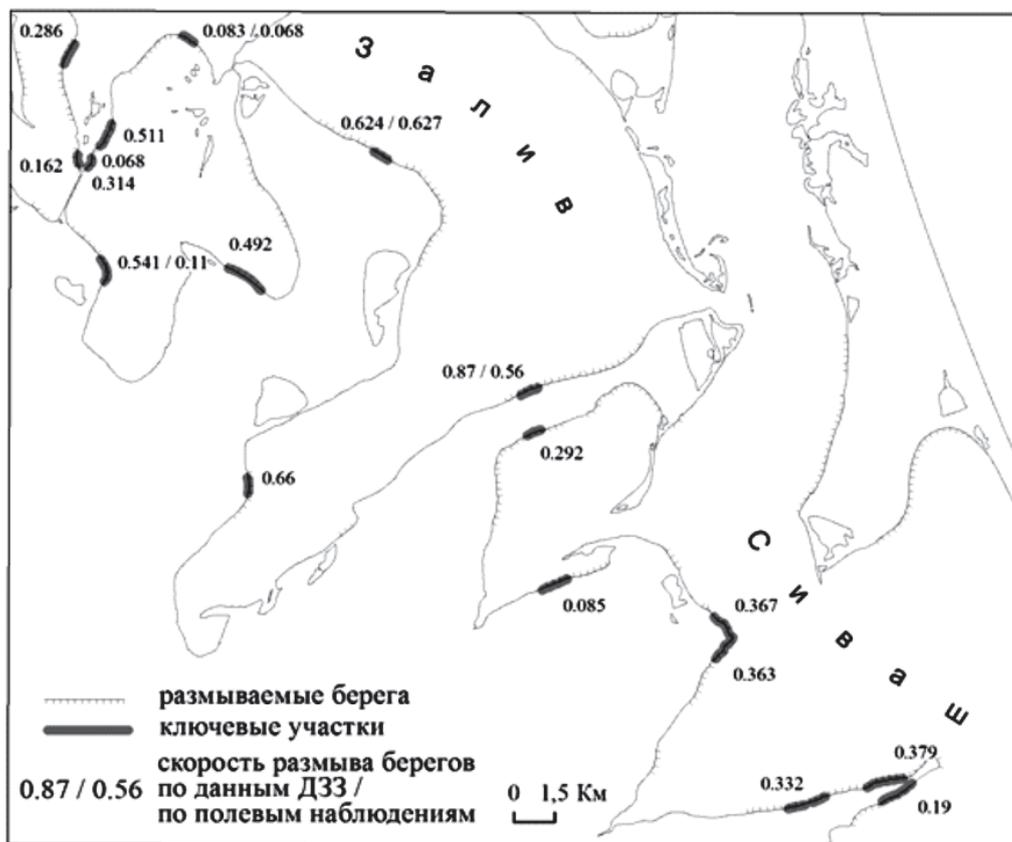


Рис. 2. Скорость размыва берегов залива Сиваш (для ключевых участков)

Анализ полученных данных свидетельствует, что скорость размыва берегов залива Сиваш изменяется в очень широких пределах – от 0,03 до 1,5 м/год для отдельных расчетных точек. Для участков средние скорости размыва изменяются от 0,083 до 0,87 м/год, и отличаются достаточной однородностью – среднее квадратичное отклонение составляет 0,041–0,33, коэффициент вариации – 0,2–0,4. Эти данные вполне сопоставимы с результатами предварительных (2–3-летние циклы) полевых наблюдений, которые ведутся автором на нескольких ключевых участках.

Следует заметить, что эти значения осредненно показывают межгодовую динамику, т.к. разрушение берегов происходит дискретно, в виде единоразового обрушения большой массы породы.

Значения скорости достаточно четко коррелируют с ориентацией участков побережья по странам света: наибольшие скорости характерны для берегов восточной и северо-восточной ориентации, наименьшие – южной и юго-восточной. Это связано с наибольшей повторяемостью и максимальной скоростью ветров соответствующих направлений (рис. 3).

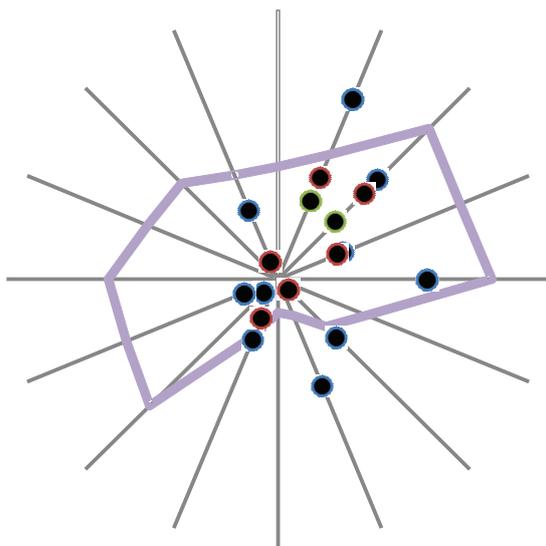


Рис. 3. Распределение скоростей размыва берегов (точки) в зависимости от ориентации береговой линии по странам света

На некоторых участках отмечается большая изменчивость скоростей размыва, что объясняется микрофестончатостью побережья. Так, на юго-восточном побережье полуострова Тюп-Кангил (см. рис. 1), имеющего в общем юго-запад – северо-восточную ориентацию наблюдаются фестоны длиной 50–200 м, глубиной 20–70 м. На участках фестонов, ориентированных на восток, скорость отступления клифов составляет 0,3–0,5 м/год, на участках южной экспозиции – 0,1–0,2 м/год.

Использование космических снимков высокого разрешения, полученных спутником Landsat, для изучения процессов размыва берегов Сиваша, не дало корректных результатов. По всем ключевым участкам значения скорости оказались завышенными в 2–3 раза по сравнению с данными, полученными первичным способом и по полевым наблюдениям.

### Заключение

Таким образом, анализ космических снимков очень высокого разрешения и крупномасштабных аэрофотоснимков позволил впервые определить скорости абразии (размыва) берегов залива Сиваш. В зависимости от ориентации берега, ширины прилегающей акватории, высоты клифа скорость отступления берегов на отдельных участках изменяется от 0,03 м до 1,5 м/год. Более точные значения могут быть получены только в результате постоянных мониторинговых наблюдений.

Использование космических и аэрофотоснимков позволяет достоверно изучать абразионные процессы. При этом точность получаемых расчетных характеристик напрямую зависит от пространственного раз-

решения и масштаба используемых материалов ДЗЗ.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-05-90900) на базе ФРЦАиНМОиПР БелГУ.*

### Список литературы

1. Давидов О.В. Фізико-географічна характеристика вітроприсушних берегів затоки Сиваш (в межах західного, центрального та східного регіонів) // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. – 2007. – Т.12, вип. 8. – С. 62–70.
2. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Аспект Пресс, 2004 – 184 с.
3. Леонтьев В.К., Леонтьев О.К. Основные черты геоморфологии Сивашской лагуны // Вестник Московского университета. Серия география. – 1956. – № 2. – С. 185–194.
4. Михайлов В.А. О характере берегов Сиваша // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». – 2007. – Т. 20 (59), № 2. – С. 322–332.
5. Украинский П.А., Цыганкова А.Е. Изучение динамики берегов в Белом море с помощью спутниковых снимков // Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике: Материалы III Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых. 19–22 октября 2009 г. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2009. – С. 61–63.
6. Шуйский Ю.Д. Типи берегів Світового океану. – Одеса: Астропринт, 2000. – 480 с.
7. Шустов Б.С. Восточный Сиваш и его берега // Ученые записки МГУ. – 1938. – Вып. 19. География. Т. II «Берега». – С. 103–114.

### References

1. Davydov A.V. Odesa National University Herald. 2007. T.12, no. 8. pp. 62–70.
2. Labutina I.A. Deshifrirovaniye ajerokosmicheskikh snimkov [Interpretation of aerospace images]. Moscow, Aspekt Press, 2004. 184 p.
3. Leont'ev V.K., Leont'ev O.K. Moscow University Herald. Series Geography. 1956. no. 2. pp. 185–194.
4. Mihajlov V.A. Scientific Notes of Taurida National V. Vernadsky University. Series Geography. 2007. T. 20 (59), № 2. pp. 322–332.
5. Ukrainskij P.A., Cygankova A.E. Geojekologija i racional'noe prirodopol'zovanie: ot nauki k praktike: Materialy III Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchjonyh. 19–22 oktjabrja 2009 g. Belgorod, Izd-vo BelGU, 2009. pp. 61–63.
6. Shujskij Ju.D. Tipi beregiv Svitovogo okeanu [Types of coasts of the World ocean]. Odesa, Astroprint, 2000. 480 p.
7. Shustov B.S. Scientific Notes of MSU. 1938. Vol. 19. Geografija. T. II. Berega. p. 103–114.

### Рецензенты:

Вахрушев Б.А., д.г.н., профессор, декан географического факультета Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Позаченко Е.А., д.геогр.н., профессор, заведующая кафедрой физической географии и океанологии Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

Работа поступила в редакцию 06.09.2012.