

© Моисеева Н.А.¹, Курбанов Р.Н.^{2,3}**Палеогеографическое картографирование Каспийского моря¹⁹**¹ СКАНЭКС, Москва, moiseewa@scanex.ru² Институт географии РАН, Москва³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Побережья Каспия являются одними из наиболее освоенных в хозяйственном и рекреационном отношении. Побережья и шельф представляют большой интерес месторождениями нефти, газа и других полезных ископаемых, а также путями их транспортировки. Поэтому Каспийский регион привлекает повышенное внимание исследователей, в том числе и к его палеогеографии [1]. Особенно это проявилось в последние десятилетия, когда свой резко нестационарный характер показал Каспий, поднятием уровня на 2,5 м, за 18 лет нанеся существенный ущерб прикаспийским государствам. Знание закономерностей развития системы Каспийского моря при разномасштабных и разнонаправленных колебаниях климата необходимо для прогнозирования оценок и для выработки стратегии устойчивого развития регионов. Наблюдаемые глобальные изменения климата в текущем столетии определили возрастание интереса к вопросам прогноза устойчивости морских берегов в условиях изменений уровня моря и климатических условий [2]. Информация об экстремальных процессах на побережье, как правило, не выходит за пределы периода инструментальных наблюдений, которые ограничены последним столетием. Расширение подобных данных представляет большой интерес не только для повышения надежности прогноза рисков экстремальных процессов, но и выявления черт нарушения медленного, эволюционного развития береговых систем, что крайне важно для понимания процессов их эволюции и внутренней динамики. Оценка и прогноз возможных негативных последствий колебания уровня Каспийского моря требует создания серии карт. Картографический метод применен в данном исследовании с целью оценки площади распространения различных стадий эволюции древних бассейнов Каспийского моря (начиная со 150 тыс. лет назад), а также оценки возможных угроз экономике и инфраструктуре побережья.

Материалы и методы исследования. Целью настоящей работы является создание локальной географической информационной системы и изучение в ее рамках динамики уровня Каспийского моря для разных этапов крупных трансгрессий (подъема уровня моря) за последние 120 тыс. лет.

Для достижения поставленной цели исследования было разбито на следующие этапы. (1) Анализ опубликованных и фондовых материалов по

¹⁹ Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект 17-77-10134

проблеме колебания уровня Каспийского моря и выявление положения уровня в различные периоды трансгрессий. (2) Разработка структуры локальной географической информационной системы динамики Каспийского моря. (3) Вычисление метрических параметров Каспийского моря (объем воды, протяженность береговой линии), соответствующих различными периодам трансгрессий. 1

В рамках исследования нами были рассмотрены наиболее крупные трансгрессии Каспийского моря за последние 120 тыс. лет (поздний неоплейстоцен). В настоящее время в литературе общепризнанными являются следующие крупные трансгрессивные этапы в истории Каспия: новокаспийский, хвалынский и поздне-хазарский. В рамках каждой из трансгрессий были определены соответствующие им для Каспийского моря уровни террас в метрах абсолютной высоты [3], [4], [5]. Определенные уровни различных стадий развития этих трансгрессий, выделенные по геоморфологическим признакам приведены в таб. 1.

Важной задачей прогноза развития уровня моря и его влияния на рельеф побережья является расчет метрических параметров, в частности объема чаши и площади Каспийского моря, протяженности береговой линии, для всех выделенных трансгрессивных стадий.

Для выполнения данной задачи локальная геоинформационная система должна содержать сведения о цифровой модели рельефа территории исследования, о батиметрической модели Каспийского моря, а также о положении урезов Каспийского моря, соответствующих различным стадиям трансгрессий, и его современных границах. Цифровая модель рельефа, в также батиметрическая модель Каспийского моря должны быть представлены в растровом формате и приведены к единому пространственному разрешению, в качестве формата нами был выбран GeoTIFF. Сведения о положении урезов Каспийского моря, для различных стадий, и его современных границах должны быть представлены в векторном формате, в виде замкнутых полигонов, в качестве формата нами был выбран формат SHAPE.

Таблица 1. Трансгрессивные этапы позднего неоплейстоцена Каспийского моря

Горизонт	Трансгрессия	Стадия	Урез воды, м
Современное положение уровня			-28
Новокаспийский горизонт	Новокаспийская	5-я стадия (последний межледниковый максимум)	-25
		4-я стадия	-23
		2-я стадия	-20
Хвалынский горизонт	Позднехвалынская	Сартасская стадия	-12

Горизонт	Трансгрессия	Стадия	Урез воды, м
		Кумская стадия	-6
		Махачкалинская стадия	0
	Раннехвалынская	Терраса с береговой линией	6
		Туркменская стадия	16
		Буйнакская стадия	22
		Талгинская стадия	36
		Максимальная стадия	48
Верхне-хазарский горизонт	Позднехазарская	Гирканская стадия	-20
		Ранняя стадия	-10

В качестве основного источника картографирования положения береговой линии Каспийского моря в зависимости от соответствующего ему уровня уреза воды в различные периоды трансгрессий нами была использована цифровая модель рельефа SRTM-90 (Shuttle Radar Topographic Mission) пространственного разрешения 90 метров на пиксел. Для наиболее корректного построения соответствующих высотных уровней (урезов Каспийского моря) высоты цифровой модели рельефа SRTM-90 были приведены к системе координат Пулково 1942 года. При расчете метрических параметров Каспийского моря данная модель принималась неизменной во времени.

В качестве источника для построения батиметрической модели Каспийского моря для современного положения уровня были использованы общедоступные сведения о положении изобат 50, 100, 200, 500 и 1000 м согласно мелкомасштабным физико-географическим картам, имеющимся в открытом доступе. В рамках развития работы планируется использование Морских навигационных карт Каспийского моря масштаба 1:750000 и масштаба 1:200000.

В качестве источника картографирования положения современной границы Каспийского моря, а также залива Кара-Богаз-Гол и сора Мертвый Култук, использовалась спутниковая съемка LANDSAT-8 пространственного разрешения 15 метров на пиксел (15 метров в панхроматическом диапазоне и 30 метров в мультиспектральных каналах).

Построение изогипс, соответствующих различным стадиям трансгрессий Каспия на основе SRTM-90 было произведено в модуле работы с цифровыми моделями рельефа программного обеспечения ScanEx Image Processor v.5.

Батиметрическая модель (рельеф дна) Каспийского моря была построена на основе изобат, векторизованных по физико-географическим картам, при этом также был использован модуль работы с цифровыми моделями рельефа программного обеспечения ScanEx Image Processor v.5. Батиметрическая

модель была построена посредством интерполяции с учетом положения изобат и современной береговой линии Каспийского моря, с пространственным разрешением 90 метров на пиксел для соответствия дискретизации модели SRTM-90.

Картографирование положения современной границы Каспийского моря осуществлялось посредством визуально-интерактивного дешифрирования на основе данных LANDSAT-8. Данная процедура может быть выполнена в любом геоинформационном программном обеспечении, поддерживающем загрузку растровых и векторных данных, в рамках данной работы для этого использовалось программное обеспечение ArcGIS v.10.

Для урезов Каспийского моря талгинской стадии (36 м) хвалынского горизонта и максимальной стадии (48 м) хвалынского горизонта для образования сплошного бассейна после построения изогипс было осуществлено замыкание границ по выдающимся орографическим формам, а именно в районе минимальной по расстоянию перемычки между изогипсами у Чограйского водохранилища в Манычской депрессии (так называемый порог Зунда-Толга).

На основе полученных данных векторных границ Каспийского моря, соответствующих различным трансгрессиям, метрический параметр площади Каспийского моря был рассчитан в программном обеспечении ArcGIS v.10 с применением возможности расчета геодезических площадей (Geodesic Area).

Для расчета объема глубин Каспийского моря в границах, соответствующих различным трансгрессиям, первоначально была построена единая современная цифровая модель, содержащая сведения как о наземной части цифровой модели рельефа SRTM-90, так и о полученной батиметрической модели пространственного разрешения 90 метров на пиксел. При этом совмещение моделей было произведено с учетом современного уреза воды на уровне абсолютной высоты -28 м и с учетом полученных по результатам дешифрирования современных границ Каспийского моря.

Далее полученная единая современная цифровая модель была перестроена в цифровую модель глубин для каждой стадии трансгрессии, по формуле:

$$Z = Z_{\text{совр}} - H_{\text{уреза}}$$

Где: Z – значение пикселя вычисляемой модели глубины для конкретной стадии трансгрессии, $Z_{\text{совр}}$ – значение пикселя единой современной цифровой модели, $H_{\text{уреза}}$ – значение абсолютной высоты уреза воды для конкретной стадии трансгрессии.

Таким образом, расчет цифровой модели глубин для каждой стадии производился с использованием функции растрового калькулятора в программном обеспечении ScanEx Image Processor v.5. Результат расчета цифровой модели глубин для каждой стадии был сохранен в виде растрового изображения формата GeoTIFF пространственного разрешения 90 метров на пиксел в пределах векторной картографической маски границ Каспийского моря в период соответствующей трансгрессии.

Расчет объема для каждой из трансгрессивных стадий Каспийского моря был осуществлен на основе полученных для них моделей глубин посредством функции расчета статистик раstra в программном обеспечении ArcGIS v.10. Для каждой трансгрессии значение суммы пикселей моделей по модулю было перемножено на значение площади ячейки пикселя.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате исследования нами были получены следующие параметры для различных стадий трансгрессии Каспийского моря. Полученные данные отражают зависимости площади Каспийского моря и протяженности береговой линии от положения уровня за последний 120 тыс. лет (таб. 2).

Таблица 2. Расчетные данные площади, протяженности береговой линии и объема для различных стадий трансгрессий Каспийского моря

Стадия	Урез воды, м	Площадь, км ²	Протяженность береговой линии, км	Общий объем, км ³
Современное положение уровня	-28	375 608	12 754	67 455
5-я стадия (последний межледниковый максимум)	-25	453 931	21 984	69 196
4-я стадия	-23	479 492	22 763	70 425
2-я стадия	-20	510 301	23 503	71 923
Сартасская стадия	-12	601 272	22 210	76 265
Кумская стадия	-6	653 263	22 159	80 184
Махачкалинская стадия	0	706 778	21 827	84 277
Терраса с береговой линией	6	751 605	18 750	88 783
Туркменская стадия	16	802 757	20 564	96 472
Буйнакская стадия	22	835 993	22 089	101 515
Талгинская стадия	36	906 863	25 704	113 773
Максимальная стадия	48	949 620	35 720	124 982
Гирканская стадия	-20	510 301	23 503	71 923
Ранняя стадия	-10	619 870	22 446	77 495

С целью систематизации использованных материалов и результатов исследования, а также визуализации эволюции трансгрессивных этапов Каспия нами был создан Веб-ГИС портал на существующей платформе ScanEx Web Geo-Mixer.

На текущий момент в Веб-ГИС портал интегрированы следующие тематические блоки данных. (1) Данные цифровой модели рельефа региона исследования и производных характеристик на ее основе (крутизны склонов, экспозиции склонов, светотеневой отмывки). (2) Данные о положении современной границы Каспийского моря и о положении границ Каспийского

моря для различных стадий трансгрессий. (3) Картографические материалы, иллюстрирующие батиметрию современного Каспия (включая морские навигационные карты масштабов 1:750000 и 1:200000) и векторные картографические слои изобат, созданные на основе данных картографических материалов. (4) Палеогеографические карты монографий, отражающие положение границ Каспийского моря в периоды крупных трансгрессий. (5) Разграфки морских навигационных карт, топографических карт, соответствующих по пространственному охвату региону исследования, а также сведения о положении границ ключевых участков исследования. Дальнейшее содержание Веб-ГИС портала будет дополняться по мере развития исследования.

Просмотр Веб-ГИС портала можно осуществить по ссылке maps.kosmosnimki.ru/api/index.html?CE3B9FAC613D42908B46280A577F6A28.

Функционал Веб-ГИС портала позволяет осуществлять одновременный просмотр векторных и растровых картографических слоев, а также их семантической информации и метаданных, при этом к слоям портала могут применяться различные настройки видимости, стилей и параметров отображения. Веб-ГИС портал является мультимасштабным и глобальным по охвату, содержит набор общедоступных картографических подложек. Веб-ГИС портал содержит базовый функционал геоинформационной системы для производства пространственного анализа, создания и редактирования объектов, расчета метрических и пространственных характеристик загруженных векторных картографических объектов.

Веб-ГИС портал, таким образом, является не только средством интеграции и визуализации полученных в ходе исследования пространственных данных, но и средством их анализа. Пример интерфейса и содержания Веб-ГИС портала приведен на рис. 1.

При проведении дальнейшего исследования в рамках работы по палеогеографическому картографированию Каспийского моря перед нами стоят следующие задачи в рамках развития картографического метода исследования. (1) Уточнить батиметрическую модель Каспийского моря для современного периода посредством использования морских навигационных карт и сведений о глубинах, содержащихся в них. (2) Проанализировать возможность использования для исследования иных сведений о рельефе, отличных от модели SRTM-90. (3) Осуществить моделирование чаши Каспийского моря для новокаспийского, хвалынского и верхне-хазарского горизонтов с учетом сведений геологических профилей. (4) Произвести прогноз предстоящих трансгрессий и регрессий Каспийского моря. (5) Осуществить более детальное картографирование рельефа и батиметрии для территории отобранных для исследования ключевых участков Российской Федерации, Казахстана и Туркмении. (6) Локализовать промышленные и инфраструктурные объекты, находящиеся на территории отобранных для исследования ключевых участков, сделать прогноз их затопляемости и экономического ущерба в случае затопления.

Выводы. В рамках исследования выполнен расчет основных параметров крупных этапов подъема уровня Каспийского моря для последних 120 тыс. лет. Рассчитанные характеристики площади, протяженности береговой линии и объема являются основой для понимания палеогеографических характеристик бассейнов и анализа эволюции природной среды позднего неоплейстоцена. Разработанная база данных является эффективным инструментом для визуализации истории Каспийского моря, а также, при анализе закономерностей колебания уровня, позволяет оценить возможные негативные последствия затопления/осушения на побережье.

Выполненная работа показывает значимость картографического метода исследования при анализе колебаний уровня Каспийского моря, а также при прогнозировании дальнейших колебаний уровня и оценке их последствий.

Литература:

1. Бадюкова Е.Н., Варушенко А.Н., Соловьева Г.Д. Влияние колебаний уровня моря на развитие береговой зоны // Вестник МГУ. Серия 5, география, 1996, № 6. С. 83.
2. Кислов А.В. О многомасштабности колебаний уровня Каспийского моря. // Вестник МГУ. Серия 5, география, 2011, № 5. С. 49-54.
3. Рычагов Г.И. Прогноз уровня Каспийского моря на основе палеогеографических реконструкций // Вестник МГУ. Серия 5, география, 1994б, № 3. С. 71-79.
4. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: МГУ, 1997. С. 268.
5. Свиточ А.А. О природе хвалынской трансгрессии Каспия // Океанология, 2007, Т. 47, № 2. С. 304-311.

DOI: 10.15356/Meridian2018_55

© Некрасова Л.А.

**Историко-эколого-геоморфологический анализ системы
землепользования староосвоенных территорий Нечерноземья (на примере
Тверской области)**

Институт географии РАН, Москва, nekrasova@igras.ru

Территориальные системы расселения и природопользования с позиций экологической геоморфологии можно рассматривать как природно-социальные системы, формирование, развитие и антропогенные изменения которых непосредственно связаны с особенностями ландшафтно-геоморфологических условий их расположения. Рельеф, ландшафтно-геоморфологические и экологические свойства местностей, как естественная природная основа, – важнейшие факторы, влияющие на структуру расселения и культуру землепользования, условия сельскохозяйственного использования