

Опыт применения данных SRTM NASA при реконструкции морфометрических параметров Хвалынского бассейна Каспия

Н.В. Лаверентьев¹

Ключевые слова: древний Каспий, Хвалынская трансгрессия, SRTM NASA, морфометрия
Key words: ancient Caspian, Khvalynskaya transgression, SRTM NASA, morphometry

Хвалынская трансгрессия является самым крупным поднятием уровня Каспийского моря в плейстоцене. В серии морских слоев Каспийского бассейна хвалынские отложения залегают выше поздне-хазарских (последнее межледниковье) и ниже новокаспийских (голоцен) осадков. Осадки этого бассейна большей частью выходят на дневную поверхность и перекрыты лишь новокаспийскими отложениями, уровень которых достигал до -20 м абс., поэтому хорошо сохранились береговые формы рельефа Хвалынского моря. Для Хвалынской трансгрессии выделяется 9 террас: +48–50, +35, +22, +16, +6, -5, 0, -6, -12 м абс. [1, 2, 3, 4, 5].

Детально изучена хронология Хвалынской трансгрессии Каспия, для которой имеется более полусотни радио-

углеродных датировок [4, 3, 19]. Большая часть из них включена в интервал 17–10 тыс. лет назад [20].

Пространственными реконструкциями Хвалынского бассейна стали заниматься достаточно давно. Последние комплексные исследования проводились в конце 80-х годов прошлого века С.И. Варушенко и др. [6] В этой работе были представлены результаты реконструкции конфигурации древних береговых линий основных стадий Хвалынского бассейна, вычислены площади водной поверхности и объемы вод. Казалось бы, тема уже исчерпана и не вызывает вопросов. Однако появление данных спутниковой альтиметрии, главным образом SRTM NASA, и развитие ГИС-технологий позволили дополнить и уточнить результаты более ранних исследований.

¹Сотрудник отдела геоинформационных и веб-технологий ИТЦ «СКАНЭКС», 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 5/22, стр. 1, e-mail: nikita@scanex.ru

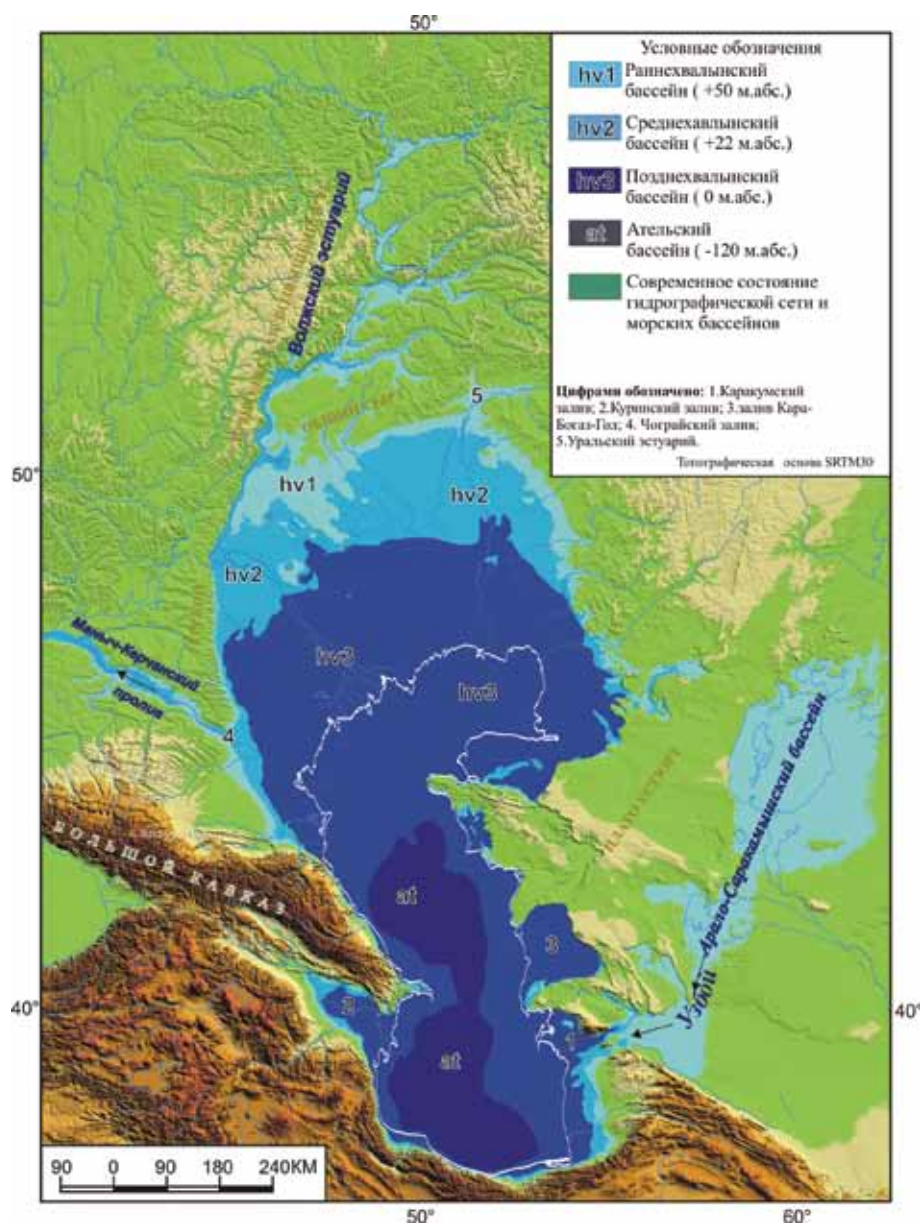


Рис. 1. Пространственная реконструкция Хвалынского бассейна

Материалы и методы

В исследовании была применена технология цифрового моделирования рельефа (ЦМР), которая представляет собой матрицу с Y, X, Z (широта, долгота, высота) координатами, по которым ГИС-программы интерполируют поверхность (рельеф). В нашей работе мы использовали ГИС-программу Global Mapper.

Опыт использования ЦМР для подсчетов морфометрических показателей

современного Каспийского моря представлен в работах М.В. Болгова и др. [7] Данные морфометрических зависимостей современных бассейнов для нас важны, так как являются исходными точками для подсчетов морфометрических показателей древних морских бассейнов. Также в статье М.В. Болгова и др. [7] дана сравнительная характеристика традиционных методов получения морфометрических показателей и методов с использованием ЦМР.

В традиционной методике в качестве основы для проведения реконструкций древних береговых линий используются крупномасштабные топографические карты в основном масштаба 1:100 000 с шагом горизонталей 20 м. Эти методы достаточно трудоемки, а фиксированный шаг горизонталей затрудняет отображение нестандартных высотных уровней древних береговых линий.

Обработка ЦМР ГИС-программами позволяет отображать рельеф по удобной пользователю высотной шкале; строить трехмерные карты с отмывкой, что делает рельеф более наглядным; легко считать площади водной поверхности и объемы вод древних морских бассейнов, проводить другие морфометрические измерения; на базе единой координатной основы привязывать отсканированный (растровый) картографический материал, в том числе палеореконструкции границ распространения хвалынской трансгрессии, изданные в разное время.

В этой работе использовались готовые ЦМР, главным образом SRTM [8], опубликованные на сайте NASA. Цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle radar topographic mission) — результат интерферометрической съемки поверхности Земли, проведенной в феврале 2000 г. с борта космического корабля «Шатл». В настоящее время доступны ЦМР SRTM 3 [8] территории Прикаспия с 3-секундным разрешением и более генерализованная версия ЦМР SRTM 30 [9] с 30-секундным разрешением.

Применение радиовысотных данных о рельефе — хорошая альтернатива топографической съемке, полученной традиционными методами. Возникает вопрос об оценке точности высотных данных SRTM. В статье Л.А. Муравьева [10] представлена сравнительная характеристика SRTM с более точными данными топографической съемки местности масшта-

Табл. 1. Характеристика использованных палеогеографических схем и карт

Авторы и год публикации палеогеографических схем и карт	Математическая основа		Масштаб	Объекты привязки	
	Координатная сетка	Масштаб		Координатная сетка	Гидрография
Е.Г. Маев, А.Л. Чепалыга. 2002.	+	+	1:100 000 000	+	+
О.К. Леонтьев. 1977 г. С. 183	+	+	1:122 000 000	+	+
А.А. Свиточ. 1991. С. 47	–	–	1:130 000 000	–	+
Изолиния 0 мабс. по Национальному атласу России. Т. 1. 2004. С. 192	+	+	1:15 000 000	+	+
Г.И. Рачагов (по схеме О.К. Леонтьева с дополнениями). 1997. С. 224	–	–	1:122 000 000	–	+
Береговая линия Нижнехвалынского бассейна по карте четвертичных (неоплейстоценовых) отложений и элементов палеогеографии Каспийского региона (Ю.А. Волож, П.П. Антипов, Ю.А. Лаврушин. Под ред. Ю.Г. Леонова. 2004)	+	+	1:2 500 000	+	+

ба 1:5 000. По мнению автора, неточность отображения высотных данных SRTM по сравнению с топографической съемкой масштаба 1:5 000 является следствием «гуляющих» плановых координат (X, Y) с амплитудой до 30–40 м, особенно хорошо высотные искажения видны на крутых склонах речных долин и оврагов, где корректная плановая привязка высотных данных особенно актуальна.

Использование SRTM 3 для палеореконструкций, начиная с масштабов 1:50 000 и 1:100 000, можно считать корректным, так как отклонение плановых координат в среднем на 30 м отображается в масштабе 1:100 000 как 0.03 мм, в масштабе 1:50 000 — 0.06 мм. Вопрос применения SRTM 3 для более крупномасштабных реконструкций должен решаться в каждом случае индивидуально, в зависимости от поставленной задачи.

В качестве основной ЦМР нами была использована генерализованная SRTM 30, разрешение которой в 10 раз меньше, чем у SRTM 3, что делает возможным применение SRTM 30 для палеореконструкций, начиная с масштаба 1:1 000 000. Этот масштаб нам подходит в наибольшей степени, так как большинство палеореконструкций Хвалынской трансгрессии являются мелкомасштабными. Вторая причина применения «грубой» SRTM 30 заключалась в том, что при визуализации SRTM 3 морфоскульптуру Прикаспийской низменности «забьет» микрорельеф низменности. Однако при визуализации SRTM 30 за счет генерализации координатных точек ЦМР микрорельеф низменности будет нивелирован, что даст возможность увидеть морфоскульптуру Северного Прикаспия. Правильность генерализации изогипс SRTM30, к которым приуро-

чены основные уровни Хвалынской трансгрессии, была проверена по данным более подробной SRTM 3.

Для вычисления параметров Ательского бассейна была использована навигационная карта Каспийского моря масштаба 1:1 000 000, оцифрованная К. Зияфатом (http://www.caspianenvironment.org/dim/gis/isobat_ascii.zip). Расчет объемов вод Хвалынского бассейна производился с использованием морфометрических данных современного Каспийского моря [7].

Результаты и обсуждение

Благодаря SRTM 30 были заданы высотные уровни, которые соответствуют основным осцилляциям Хвалынской трансгрессии (рис. 1). Учитывая сравнительную молодость Хвалынской трансгрессии, подобный подход вполне

Табл. 2. Расчеты морфометрических параметров Хвалынского бассейна по Лаврентьеву, Чепалыге, 2007, и по Варушенко, 1987

Бассейны	Уровень м. абс.	Площадь в кв. км.		Объем в км. куб. без учета осадков		Длина береговой линии в км
			Варушенко, 1987		Варушенко, 1987	
Позднехвалынский	-12	595 139		81 991		10 145
	-5	652 298	606 000	86 331	89 800	10 024
	0	698 965	661 000	89 727	93 000	10 182
Среднехвалынский	+5	740 186	698 000	93 291	96 000	10 189
	+16	808 757		102 191		9 458
	+22	838 001		106 656		10 112
Раннехвалынский	+35	897 768	876 000	118 239	119 000	10 664
	+50	936 430	916 000	131 832	129 000	13 907
Волжский эстуарий хвалынского бассейна	+22	6 072				1 552
	+35	11 457				2 758
	+50	26 593				5 969
Арало-Саракомышский	+60	120 600				21 113
Ательский	-120	136 588		51 698		2 283
Современный уровень*	-28	379 565		73 752		5 767

*Болгов, Филимонова, 2005

приемлем. Наиболее выраженной в рельефе, по данным SRTM 3, оказалась изогипса +50 м, она соответствует максимальной стадии Раннехвалынской трансгрессии. Ее береговые террасы хорошо фиксируются в рельефе на территории Дагестана и Туркмении (рис. 2).

Визуализация рельефа Прикаспийской низменности, по данным SRTM 30, позволила выявить древние береговые формы рельефа (рис. 3). Особенно четко они выделяются в секторе между Волгой и Камыш-Самарскими озерами. Если задать нулевую изогипсу, то по ней как раз фиксируются абразионные формы рельефа. Скорее всего это береговые формы (клиф) Позднехвалынской трансгрессии. От правого бе-

рега р. Волги и до восточной оконечности Ергеней хорошо прослеживается дельта Волги позднехвалынского возраста, о чем пишет О.К. Леонтьев и др. [2], в свою очередь, ссылаясь на В.А. Николаева [13].

Визуализация морфологии рельефа Прикаспийской низменности по данным SRTM 30 (рис. 2) позволила выявить древние аккумулятивно-абразионные береговые формы Позднехвалынской трансгрессии. Было бы интересно проверить полученные данные реконструкциями, сделанными ранее. Поэтому следующим этапом проводимых исследований стала привязка палеореконовструкций береговой линии максимальной фазы Поздне-

хвалынской трансгрессии (рис. 4). Для сравнительного анализа (табл. 1) были взяты 5 наиболее известных генерализаций береговой линии Позднехвалынского бассейна [2, 3, 4, 14, 15].

Также использована картографическая генерализация нулевой изогипсы [16], которая простирается южнее, чем нулевая изогипса по данным SRTM30. Это связано с тем, что коэффициент уклона с севера на юг Прикаспийской низменности составляет всего 0.0001, и относительно плоский рельеф затрудняет генерализацию нулевой изогипсы. В свою очередь, SRTM 30 отображает критическую линию перехода нулевой изогипсы на более возвышенные участки.

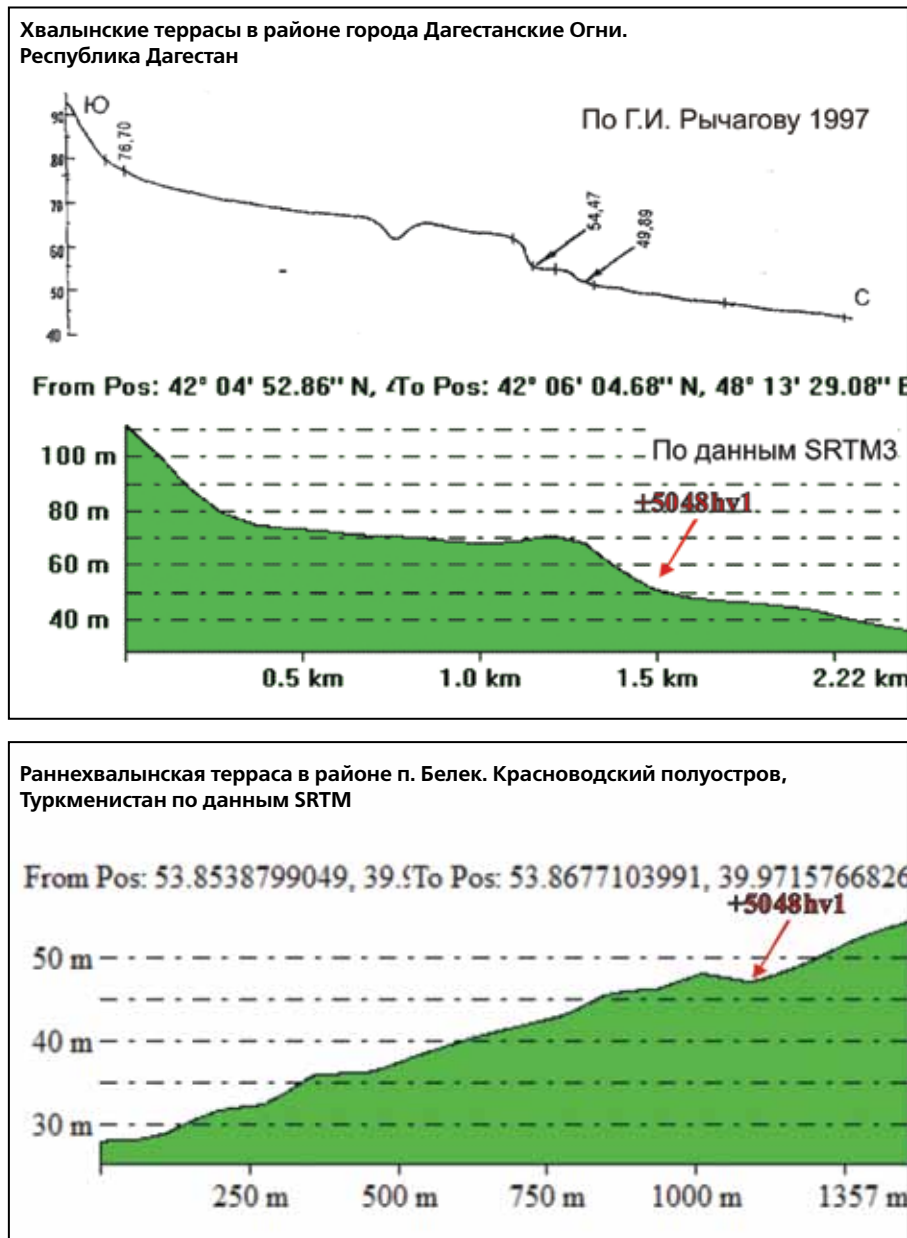


Рис. 2. Визуализация береговых террас Раннехвалынской трансгрессии

Южнее проходят и генерализации береговой линии Позднехвалынского бассейна (рис. 4). Среди них особенно внимания заслуживают палеорекострукции О.К. Леонтьева [2] и группы авторов, которые целенаправленно занимались проблемой древних береговых линий Каспийского моря. В целом реконструкцию О.К. Леонтьева можно принять как основную, так как она больше всего совпадает с визуализаци-

ей нулевой изогипсы SRTM 30 и приуроченных к ней древних береговых аккумулятивно-абразионных форм Позднехвалынской трансгрессии.

В дальнейшем отдельные детали реконструкции О.К. Леонтьева были уточнены Г.И. Рычаговым [4] и опубликованы в монографии «Плейстоценовая история Каспийского моря».

Весьма интересна интерпретация Позднехвалынской береговой линии



Рис. 3. Визуализация древних береговых форм Прикаспийской низменности по данным SRTM 30

на «Карте четвертичных (неоплейстоценовых) отложений и элементов палеогеографии Каспийского региона» [15]. Карта дает всю необходимую актуальную информацию о четвертичных отложениях региона и береговых линиях основных древних морских бассейнов Каспия, оформленных на прекрасной картографической основе масштаба 1:2 500 000. В отличие от реконструкций О.К. Леонтьева, Г.И. Рычагова и данных SRTM 30, авторы в районе озера Арапсор проводят береговую линию на 75 километров южнее, выделяя полуостров.

После анализа представленного материала была сделана попытка уточнить положение береговой линии максимума Позднехвалынской трансгрессии [17] (рис. 5).

От южной оконечности Ергеней до р. Волга береговая линия проведена согласно реконструкциям О.К. Леонтьева и Г.И. Рычагова, а также по нулевой изогипсе SRTM 30, так как четких древних береговых форм здесь не фиксируется и участок осложнен верхнехвалынской дельтой Волги.

От р. Волга до Камыш-Самарских озер выделяются четкие абразионные береговые формы, примыкающие к соляным куполам. Далее до р. Урал береговые формы осложняются эрозионными ложбинами палеодельты [2], однако по ним все же фиксируется ну-

— Береговая линия
Позднечвалынского бассейна
по А.Л. Чепалыге, Е.Г. Маеву (2002 г.)

— — — — Береговая линия
Позднечвалынского бассейна
по О.К. Леонтьеву (1977 г.)

■ 0 м абс. (По данным SRTM 30)

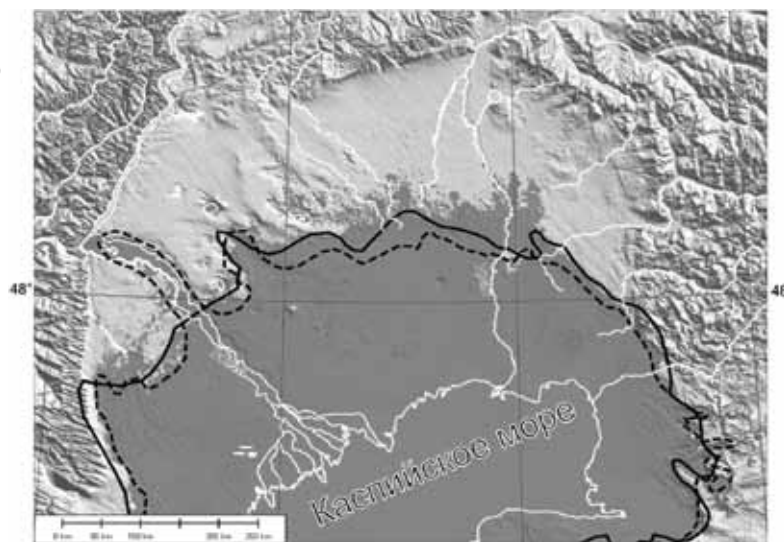
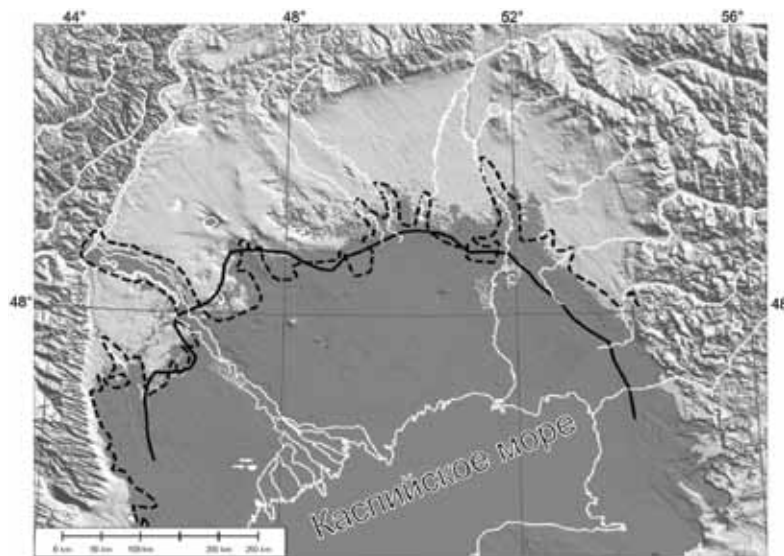


Рис. 4. Реконструкция береговой линии Позднечвалынского бассейна (0 м абс.) по данным разных авторов

— Береговая линия
Позднечвалынского бассейна
по А.А. Свиточу (1991 г.)

— — — — Изолиния 0 м абс.
М. 1:15 000 000.
Национальный Атлас России.
Т. 1.С.192 (2004 г.)

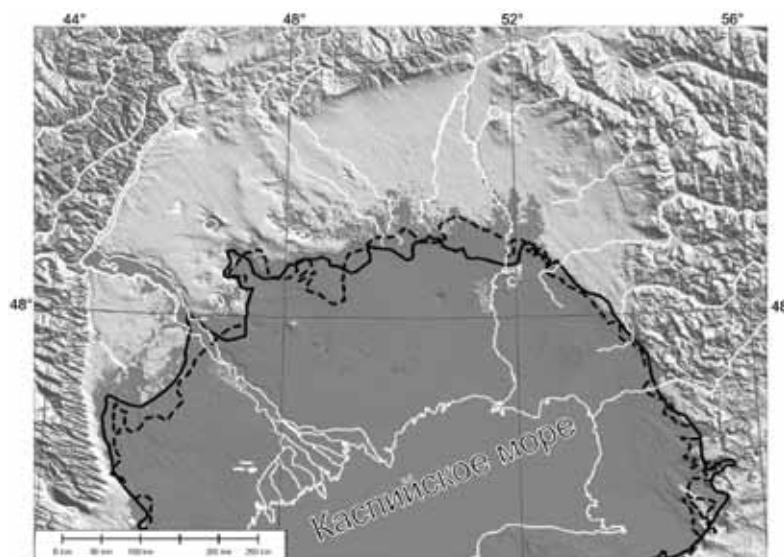
■ 0 м абс. (По данным SRTM 30)



— Береговая линия
Позднечвалынского бассейна
по Г.И. Рычагову (1997 г.)

— — — — Береговая линия Позднечвалынского бассейна по карте четвертичных (неоплейстоценовых) отложений и элементов палеогеографии Каспийского региона (Ю.А. Волож, П.П. Антипов, Ю.А. Лаврушин. Под редакцией Ю.Г. Леонова. 2004 г.)

■ 0 м абс. (По данным SRTM 30)



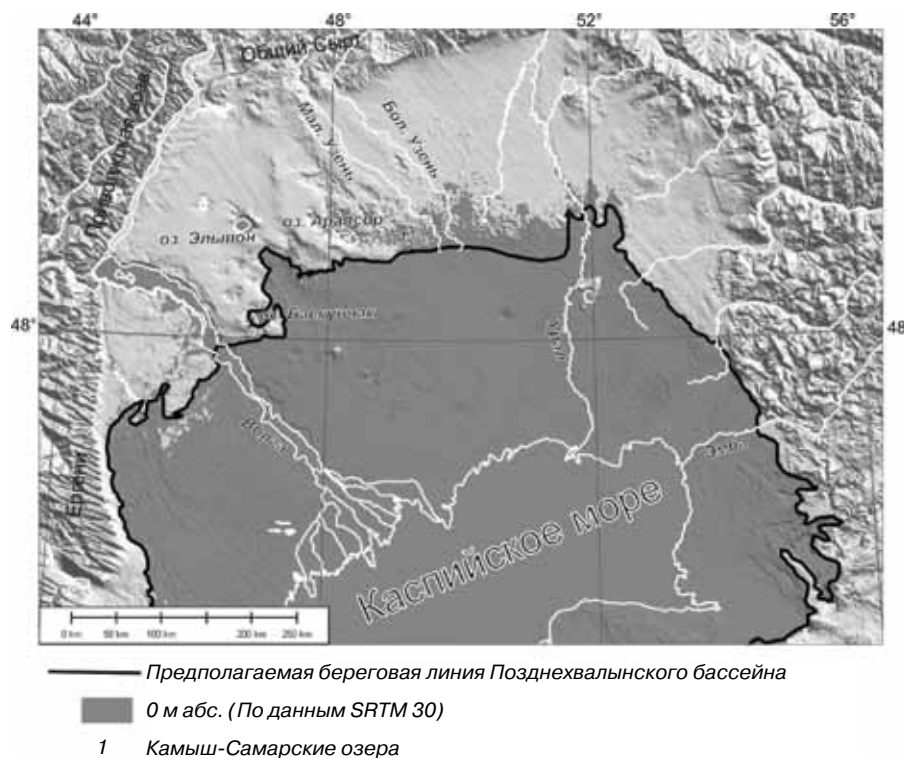


Рис. 5. Предполагаемая береговая линия Позднехвалынского бассейна

левая береговая линия Позднехвалынского бассейна, что подтверждается палеорекострукциями многих авторов. Визуализация по данным SRTM 30 аккумулятивно-абразионного берега на участке от р. Урал до чинков Устюрта позволяет нам достаточно уверенно провести береговую линию Позднехвалынского бассейна.

Полученные реконструкции конфигурации береговых линий Хвалынской трансгрессии (рис. 6) позволили вычислить площадь водной поверхности и объемы вод основных уровней Хвалынского бассейна. Приводим основные морфометрические показатели экстремумов уровней Хвалынского бассейна [18], начиная с Ательской регрессии (табл. 2). Хронология Хвалынского бассейна дана по А.А. Чепалыге (5).

Ательский бассейн (-120 м абс. 70–30 тыс. лет назад) предшествовал Раннехвалынской трансгрессии, его уровень составлял 140–120 метров

абс. (14) Это был регрессивный бассейн, площадь которого в своей максимальной стадии -120 м. абс. составляла 131.5 тыс. кв. км, длина береговой линии — около 2.2 тыс. кв. км, что практически в три раза меньше современной площади Каспийского моря.

Раннехвалынский бассейн (+50 м абс. 16.5 тыс. лет назад) был самым большим по амплитуде изменений уровня и по площади акватории, занимавшей 952 тыс. кв. км (978.6 тыс. кв. км с учетом Волжского эстуария), т.е. почти в 2.5 раза больше современного Каспия и в 6.5 раза больше предшествующего Ательского моря. Общая площадь затопления водами Хвалынского моря составляла 850 тыс. кв. км. Площадь акватории сопутствующего Арало-Саракамышского бассейна — 222 тыс. кв. км. Границы бассейна проходили у подножья Ергеней, Общего Сырта, у северных чинков Устюрта, по долинам рек сформировались ингрессионные заливы, в том числе Волжский

и Уральский эстуарии. Море занимало Куринскую низменность вплоть до района Мингечаура, полуостров Бузачи, часть степного Мангышлака, всю Западно-Туркменскую низменность. Переполняя Прикаспийскую впадину, каспийские воды сливались через Манычскую впадину в Нововзвксинский бассейн (-50–100 м. абс.).

Среднехвалынский бассейн (+22 м абс. 14.5 тыс. лет назад) отделен от Раннехвалынского Эльтонской регрессией. Площадь бассейна составляла 838 тыс. кв. км. Длина береговой линии 10 112 км. Уменьшился в размерах Волжский эстуарий, практически исчезли заливы, вдававшиеся в уступы возвышенностей Ергени и Обший Сырт. Прекратил свое существование Уральский эстуарий. Маныч-Керченский пролив мог существовать во время пика Среднехвалынской трансгрессии при условии, что возможный порог стока составлял +20 м. абс. [22], современный порог стока +27 м. абс. Одна из характерных особенностей Среднехвалынского моря по сравнению с другими хвалынскими бассейнами — наибольшая площадь островов: 3.2 тыс. кв. км. Наиболее крупные острова располагались на территории современной Прикаспийской низменности.

Позднехвалынский бассейн (0 м абс. 12.5 тыс. лет назад) является последней крупной осцилляцией Хвалынской трансгрессии. Площадь бассейна составляла 699.7 тыс. кв. км. Длина береговой линии — 6 844 км. Позднехвалынское море оставило после себя несколько стадийальных береговых линий.

В заключение хотелось бы отметить, что этот подход может быть применен к реконструкциям береговых линий других морских бассейнов. Предложенная методика позволяет уточнять конфигурацию древних береговых линий посредством примене-

ния дистанционных данных о рельефе с учетом палеореконструкций, проведенных на местности.

Материалы исследований можно посмотреть по ссылке <http://maps.kosmosnimki.ru/api/index.html?32XU7>.

Литература:

1. Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря // Тр. ГИН АН СССР. 1957. Вып. 10. 298 с.
2. Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977. 208 с.
3. Свиточ А.А. Колебания уровня Каспийского моря в плейстоцене (классификация и систематическое описание) // Палеогеография и геоморфология Каспийского региона в плейстоцене. М.: Наука, 1991. С. 5–100.
4. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
5. Чепалыга А.А. Эпоха Экстремального Затопления (ЭЭЗ) как прототип «Всемирного Потопа»: Понто-Каспийские бассейны и северное измерение // «Квартер-2005» — IV Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: материалы совещания (Сыктывкар. 23–26 августа 2005 г.) / Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 447–450.
6. Варушенко С.И., Варушенко А.Н., Клиге Р.К. Изменение режима Каспийского моря и бесточных водоемов в палеовремени. М. Наука, 1987.
7. Боголов М.В., Филимонова М.К. Об источниках неопределенности при прогнозировании уровня Каспийского моря и оценке риска затопления прибрежных территорий // Водные ресурсы, 2005. Т. 32, 6. С. 664–669.
8. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
9. <http://www.dgadv.com/srtm30/>
10. http://geo.web.ru/db/author.html?id=12634&top_mid=1177761 Муравьев Л.А. Высотные данные SRTM против топографической съемки // <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1177761>
11. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 110 с.
12. Николаев В.А. Нижняя Волга в хвалынское время // Бюл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол. 1957. Вып. 4.
13. Чепалыга А.А., Маев Е.Г. Каспийское море // Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен-голоцен — элементы про-

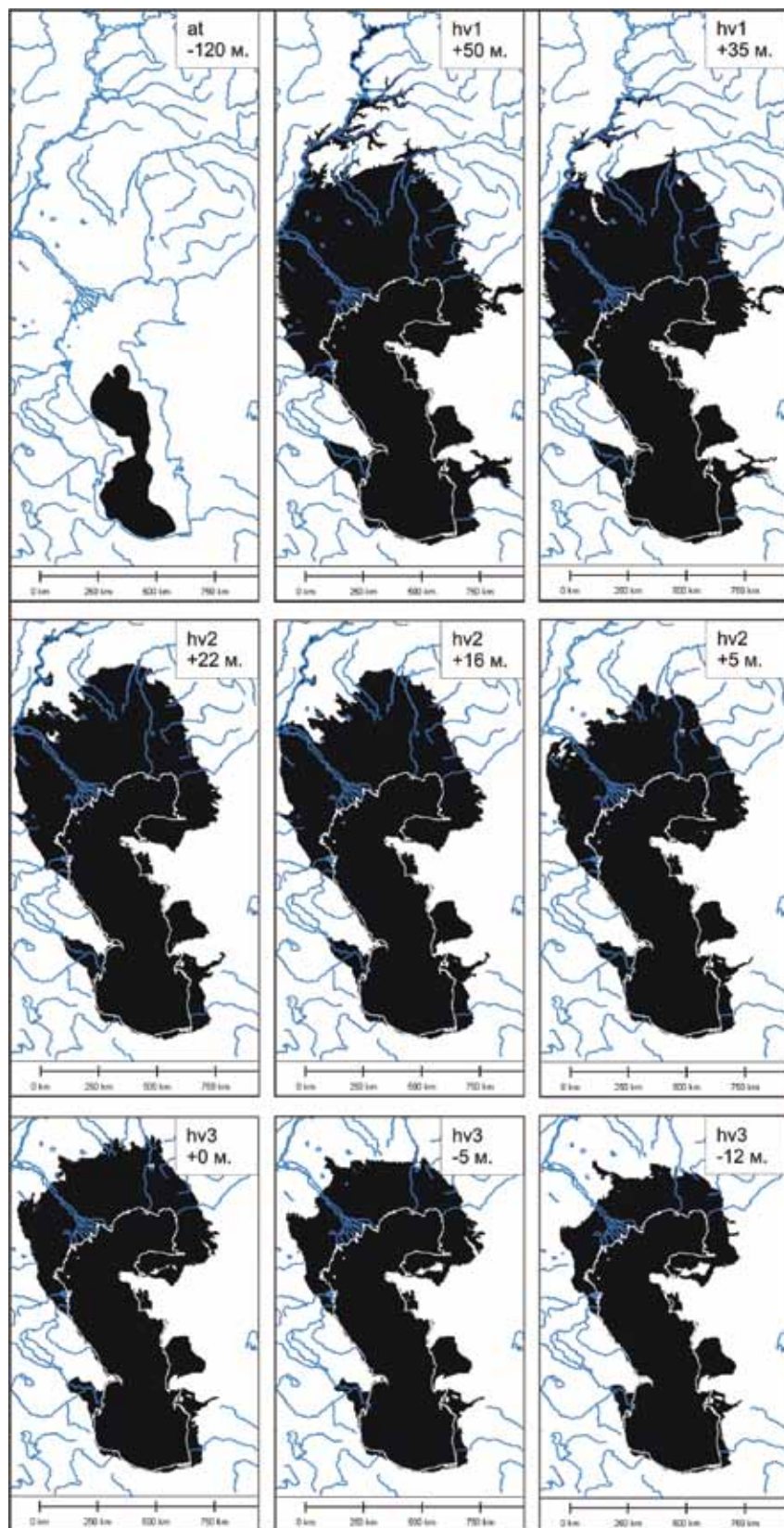


Рис. 10. Пространственная реконструкция основных уровней Хвалынского бассейна

- гноза». Вып. 11. Общая палеогеография / А.А.Величко. М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
15. Волож Ю.А., Антипов П.П., Лаврушин Ю.А. Карта четвертичных (неоплейстоценовых) отложений и элементов палеогеографии Каспийского региона / Ю.Г. Леонов. М.: ГИН РАН, 2004. 3 листа.
 16. Общая характеристика территории // Национальный атлас России. Т. 1. М.: РОСКАРТОГРАФИЯ, 2005. С. 192.
 17. Лаврентьев Н.В., Чепалыга А.А. Опыт применения ГИС-технологий для реконструкции береговых линий Хвалынского бассейна (на примере Прикаспийской низменности) // Геоморфология. 2008. № 2. С. 66–73.
 18. Лаврентьев Н.В., Чепалыга А.А. Морфометрия Каспийского моря в позднем плейстоцене // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода, г. Новосибирск, 19–23 октября, 2009 г. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. С. 124–129.
 19. Леонов Ю.Г., Лаврушин Ю.А. и др. Новые данные о возрасте отложений трансгрессивной фазы раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря // ДАН. 2002. Т. 386. № 2. С. 229–233.
 20. Dolukhanov P.M., Chepalyga A.L., Lavrentiev N.V. The Khvalynian transgressions and early human settlement in the Caspian basin // Quaternary International 225 (2010).
 22. Чепалыга А.А., Пирогов А.Н. События Эпохи Экстремальных Затоплений в долине Маныча: сброс Каспийских вод через Маныч-Керченский пролив // «Квартер-2005» — IV Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: материалы совещания (Сыктывкар. 23–26 августа 2005 г.) / Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 445–447.

SRTM NASA data application experience during reconstruction of morphological parameters of Khvalynsky basin in Caspian Sea. By N. Lavrentiev

This article presents the results of reconstruction of the ancient shorelines at main stages of Khvalynsky basin. Acreage of water surface and water volumes are calculated. Satellite-based altimetry data, mostly from SRTM NASA and development of GIS-technologies enabled to add and verify results of earlier studies.



ГЕОСЕРВИСЫ



Геосервисы на базе технологии **ScanEx Web GeoMixer®** позволяют решать задачи управления в реальном времени путем предоставления удаленного доступа к оперативным геопро-странственным данным.

ГЕОПОРТАЛЫ



Геопорталы на базе технологии **ScanEx Web GeoMixer®** позволяют использовать актуальные геопро-странственные данные для их оперативного анализа в процессе принятия управлен-ческих решений.

Система геопро-странственного обеспечения принятия управленческих решений

«Система ...» ИТЦ «СКАНЭКС» — это результат интеграции новейших достижений в сфере ДЗЗ, web-портальных технологий и ГИС, это эффективный инструмент управления территориями, инфраструктурой компаний, сложными объектами на основе актуальных спутниковых данных.

СТАНЦИИ



УниСкан™ — аппаратно-программный комплекс для приема, обработки, каталогизации и архивации данных космо-съемки. В мире действуют более 60 центров на базе технологии УниСкан.

ДАННЫЕ



Сеть **ScanNet™** на базе станций УниСкан™ позволяет в оперативном режиме предоставлять пользователям данные космосъемки с 16 спутников. ИТЦ «СКАНЭКС» обладает эксклюзивными правами на распро-странение данных SPOT 4, SPOT 5, EROS A, EROS B на территории России.