

УДК 551.506:504.064.37

Канд. геогр. наук

Н.И. Ивкина \*

Канд. техн. наук

А.Г. Терехов \*

Ж.К. Наурызбаева \*

**КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И ДИАГНОСТИКА  
СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ  
ЛИНИИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT ПЕРИОДА  
2005...2015 ГОДОВ***ПОНИЖЕНИЕ УРОВНЯ МОРЯ, КАРТИРОВАНИЕ,  
КАЗАХСТАНСКИЙ СЕКТОР, КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ,  
ВОДООХРАННАЯ ЗОНА, ПЛОЩАДЬ ОСУШЕНИЯ*

*Рассмотрены вопросы, связанные с проблемой колебаний уровня Каспийского моря и их влияний на прибрежную зону казахстанского сектора. По данным картирования спутниковых снимков площадь осушения в северо-восточной части Каспийского моря в период между 2005 и 2015 гг. составила 5055 км<sup>2</sup>. В некоторых районах море отступило на 25 км.*

**Введение.** Уровень Каспийского моря, как замкнутого водоема, в отличие от колебаний уровня в морях, подвержен значительным многолетним, межгодовым и сезонным колебаниям. Данные колебания уровня относятся к типу объемных колебаний. Они отражают изменение объема водных масс в котловине моря, имеют относительно одинаковую величину для любого пункта моря и обычно они носят медленный, относительно плавный характер. Эти колебания создают фон, на котором развиваются кратковременные, резкие деформационные колебания уровня моря, вызванные ветровым давлением на мелководную часть Северного Каспия (сгонно-нагонные явления). Спутниковые данные системы LANDSAT с разрешением 30 м, доступные в свободном доступе на интернет ресурсе агентства геологии США <http://glovis.usgs.gov>, позволяют проводить диагностику современных изменений положения береговой линии, как в аспекте многолетних тенденций, так и сезонных сгонно-нагонных явлений.

**Многолетние и межгодовые колебания уровня моря.** Систематические наблюдения за уровнем Каспийского моря начаты с 1830 г. Первая

---

\* Казгидромет, г. Алматы

попытка уточненных наблюдений над колебанием уровня Каспия была сделана Э. Ленцем, которым были установлены в районе Баку две постоянные отметки уровня. С 1 февраля 1837 г. наблюдения над колебаниями уровня в Бакинской бухте производились по футштоку против Таможенной Биржи. В 1856 г. Н.М. Филипповым был установлен новый футшток. Этим было положено начало систематическим наблюдениям над уровнем моря. С 1866 г. водомерный пост располагался в Бакинском военном порту. После открытия Бакинского водомерного поста начали работать также посты в Боасте (дельта Волги) – с 1876 г., в Астрахани – с 1881 г., на Бирючьей косе (дельта Волги) – с 1892 г., с 1900 г. находится в действии водомерный пост в порту Махачкала [1, 7].

Наиболее достоверные сведения об уровне Каспийского моря имеются с 1900 г. (рис. 1). С начала проведения инструментальных наблюдений и до 20 века уровень Каспийского моря колебался в среднем около отметки минус 25,8 м. В прошлом столетии уровень Каспийского моря почти до конца 70-х годов, в основном, понижался.

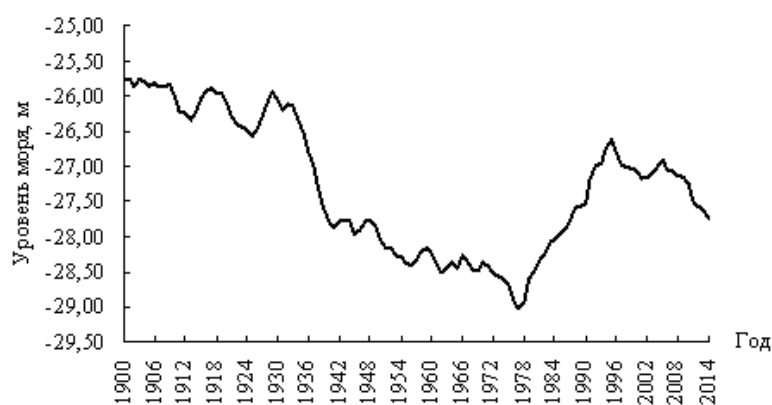


Рис. 1. Многолетние колебания уровня Каспийского моря.

Общее непрерывное понижение уровня, наблюдавшееся в 1930...1977 гг., составило 3,2 м со средней интенсивностью падения около 4 см в год. В 1977 г. уровень моря достиг самой низкой отметки за период наблюдений – минус 29,01 м. Падение уровня было связано с тем, что с середины 30-х годов на реках Каспийского бассейна началось интенсивное водохозяйственное строительство, влияние которого стало наиболее ощутимо в 50-е годы. К началу 70-х годов практически все крупные реки бассейна были зарегулированы. В результате этого уменьшился объем речного стока, и изменилось его внутригодовое распределение. В результате этого площадь водной поверхности моря

сократилась. По данным Р.Е. Никоновой (2008 г.) величина сокращения площади составила около 50 тыс. км<sup>2</sup>. Высохли и превратились в соры мелководные заливы Кайдак и Комсомолец. В северо-восточной части Северного Каспия береговая линия отступила на 120...140 км [3, 5]. Понижение уровня вызвало большие осложнения в работе портов Каспийского побережья и резко ухудшило условия судоходства, особенно в Северном Каспии. Произошло перестроение берегов и опустынивание части территории, что вызвало снижение уровня грунтовых вод. Увеличилась соленость вод Северного Каспия, которая повлияла на состояние кормовой базы полупроходных и осетровых рыб, что привело к снижению биомассы большинства донных организмов. В связи с этим проблема уровня Каспийского моря в 20 веке привлекла к себе большое внимание. Основными факторами, обуславливающими это понижение, явились изменения климата и хозяйственная деятельность человека в бассейне р. Волги.

С 1978 г. началось современное интенсивное повышение уровня Каспийского моря, которое продолжалось в течение 18 лет (1978...1995 гг.). За это время уровень моря повысился на 2,5 м, и к 1995 г. достиг отметки минус 26,62 м. Средняя интенсивность подъема уровня за этот период составила около 14 см в год, а в отдельные годы – до 36 см. Наиболее интенсивное повышение уровня моря наблюдалось в 1979 г. (0,31 м), в 1990 г. (0,36 м), в 1991 г. (0,29 м) и в 1994 г. (0,28 м).

Повышение уровня моря привело к возникновению новых проблем, связанных с подтоплением и затоплением прибрежных территорий. По исследованиям Р.Е. Никоновой (2008 г.) в результате подъема уровня площадь затопленных территорий составила 35...40 тыс. км<sup>2</sup>. В некоторых районах береговая черта выдвинулась на 25...50 км. Из зон затопления и подтопления было переселено около 100 тыс. человек и перемещены промышленные объекты [4, 6].

В результате подъема фонового уровня воды и затопления большой территории побережья изменились гидрологические условия и в прибрежной зоне казахстанской части Северного Каспия. Подверглась значительному затоплению территория от с. Курмангазы (на западе) до пос. Жанбай (на востоке). В своих трудах Сыдыков Ж.С. и Голубцов В.В. отмечают, что это привело к подпору подземного стока, направленного к морю. В результате образовались небольшие водоемы, затопленные соленой водой, а также солончаки и заболоченные площади, разбросанные и не имеющие открытой связи с морем. Замедлился водообмен в грунтовых

водах, что вызвало повышение их минерализации. В результате затопления больших площадей (до 10...50 км) между пос. Жанбай и окрестностью г. Атырау произошел отток морской воды в прилегающие депрессии [8, 10]. Образование таких депрессий привело к сокращению путей миграции грунтовых вод до моря и повышению их уровня. Происходил процесс поднятия грунтовых вод и в окрестностях г. Атырау. Во многих районах города уровни грунтовых вод достигли критической отметки, когда амплитуда их колебания, вследствие неглубокого залегания, регулируется процессами испарения. Это приводило к появлению воды в подвальных помещениях и подтоплению фундаментов зданий. Кроме того, получили развитие негативные процессы подтопления территории города на фоне уменьшения дренарующего действия воды в русле р. Урал. В результате подъема уровня моря наблюдалось разрушение инфраструктуры прибрежной части г. Актау. Был причинен ущерб сотням километров шоссейных и грунтовых дорог. Из-за повышения уровня моря пострадали нефтедобывающие и рыбохозяйственные предприятия. Повышение уровня моря до отметки минус 26,5 м БС (уровень 1995 г.) способствовало созданию условий свободного проникновения нагонов в дельты рек, а также образование подпора речного стока и увеличение площадей затопления в половодье.

В 1995 г. повышение уровня моря замедлилось, а в 1996 г. наблюдалось его понижение в основном за счет маловодья в бассейне Волги. Во втором квартале 1996 г. сброс в нижний бьеф Волгоградской ГЭС составил всего 62 км<sup>3</sup>. В годы повышения уровня моря объем сброса составлял 110...140 км<sup>3</sup> [9]. В 1997 г. сброс воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС составил около 80 км<sup>3</sup>. Средний уровень моря в 1997 г. на 15...20 см ниже уровня, наблюдавшегося в 1996 г. Начиная с 1997 по 2001 г. среднегодовой уровень моря понизился на 19 см. В 2001 г. он достиг отметки минус 27,17 м. Затем наметилась тенденция к повышению уровня моря. Средний уровень моря в 2005 г. составил минус 26,91 м БС.

Начиная с 2006 г. уровень Каспийского моря имеет тенденцию к снижению. В 2010 г. он достиг отметки минус 27,25 м. В 2011 г. интенсивность падения уровня составила 0,25 м и его величина достигла отметки минус 27,50 м. С 2012 до 2014 гг. уровень моря продолжает снижаться с интенсивностью 4...9 см в год. К концу 2014 г. он достиг отметки минус 27,82 м, а в среднем за год составил минус 27,7 м. Величина современного падения уровня относительно 1995 г. составила 1,08 м. Среднемноголетний фоновый уровень моря за период наблюдений с 1900

по 2014 гг. составил минус 27,28 м БС., т.е. современный уровень моря ниже среднемноголетнего на 42 см.

Снижение уровня моря более чем на 1 м способствовало изменению положения береговой линии Каспийского моря, особенно в казахстанском секторе. Это объясняется тем, что данный район моря имеет малые уклоны дна и прилегающей к нему суши и даже небольшие изменения уровня моря приводят к значительным затоплениям или осушениям побережья. На рис. 2-3 представлен фрагмент казахстанского побережья Каспийского моря в районе морского поста Западная Прорва в современный период отступления моря.



*Рис. 2. Осушение берега в результате падения уровня моря. Фото из архива Казгидромета.*



*Рис. 3. Бывшее дно Каспийского моря. Водомерные рейки на берегу (район Западной Прорвы). Фото из архива Казгидромета.*

Данные рисунки отчетливо демонстрируют, что вода отошла на многие километры, водомерные рейки оказались на берегу и в этом районе уже начала развиваться устойчивая к хлоридам растительность.

**Обработка спутниковых данных.** Последствия колебаний уровня Каспийского моря наиболее сильно выражены в северо-восточной, мелководной части, которая относится к территории Казахстана. Чтобы иметь более полное представление о современных изменениях в положении береговой зоны, был проанализирован ряд снимков спутников LANDSAT-5, 7, 8 по четырем сеновым позициям WRS-2: 165/28, 165/29, 166/28, 166/27. Для 2005 г. имелось незначительное число покрытий, поэтому критерием отбора съемки, в основном, являлись погодные условия. Съемка 2014 и 2015 гг., значительно более детальная по времени, что позволяло выбирать даты залета, оптимальные для решения поставленных задач.

Основная проблема картирования береговой линии северо-восточного побережья Каспия – это критерии ее распознавания. Фактически, побережье Каспийского моря в Казахстанском секторе представляет собой плоскую равнину с крайне незначительным уклоном, от 1 м перепада высот на 10...20 км. Исключительно плоская равнина продуцирует сложную береговую зону, которая во многих местах с трудом может быть сведена к береговой линии. Часто присутствующие заросли тростника маскируют линию среза воды. Сгонно-нагонные явления формируют развитую и нестабильную во времени систему островов (задний фронт) и озер (передний фронт) при наступлении и отступлении воды.

Основной задачей данной работы явилось картирование многолетних изменений в положении береговой линии, с оценкой площади осушения за период 2005...2015 гг. Предполагалось, что 10-летние изменения в положении береговой линии, границы которой аппроксимируются либо по переднему фронту прибрежной, увлажненной зоны (граница влажного грунта), либо по её заднему фронту (выраженный, устойчивый слой воды), будут давать близкие площадные оценки.

Для проверки этой гипотезы на четырех спутниковых снимках за 31.08.2005 и 01.09.2014 по двум сеновым позициям WRS-2166/27 и 166/28 была проанализирована часть северо-восточного побережья Каспия. Проведено экспертное дешифрирование псевдоцветного изображения (естественные цвета) с построением двух вариантов береговой линии. Первый вариант, это передний фронт береговой зоны, картируемый на основе спектрального градиента мокрый/сухой грунт. Второй вариант, зад-

ний фронт береговой зоны, картируемый на основе спектрального градиента [слой воды]/[переувлажненный грунт].

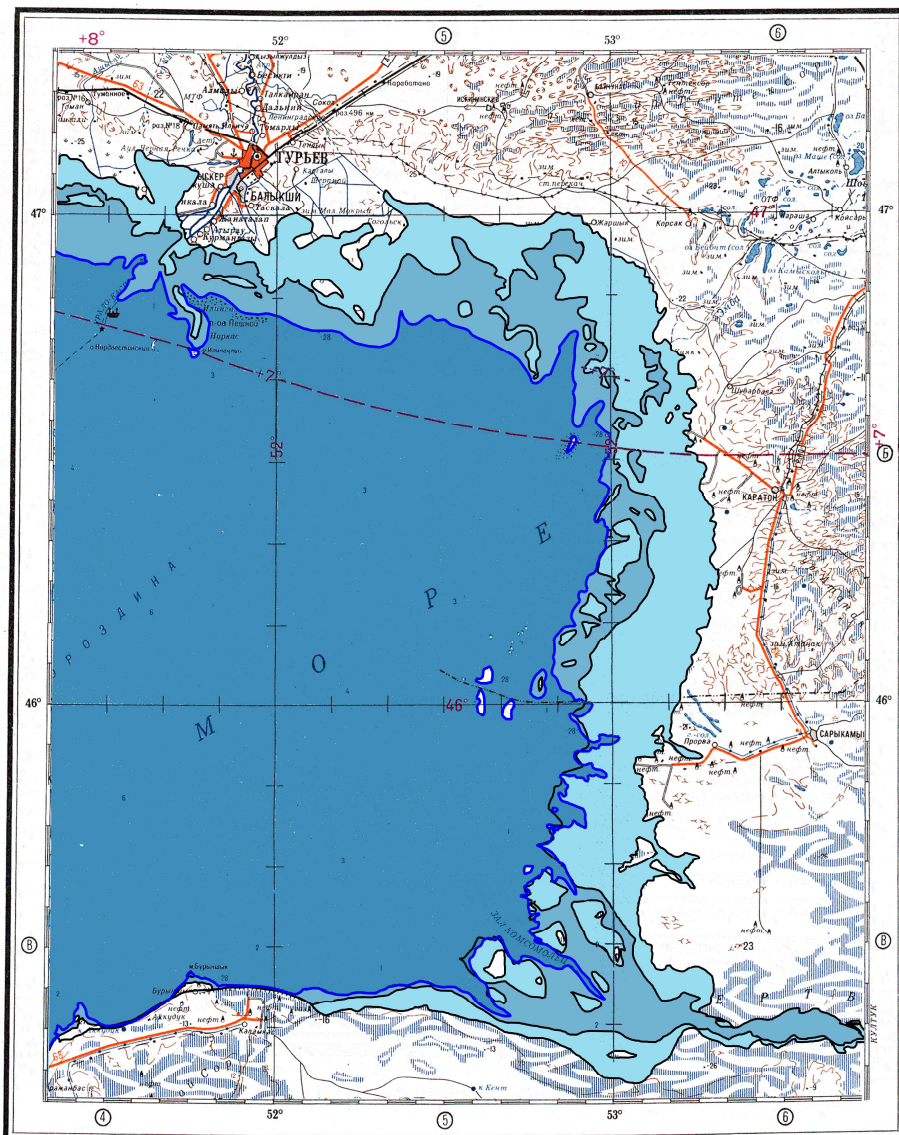
Оба варианта, фактически, дали близкие площадные оценки изменений в расположение прибрежной зоны между 2005 и 2014 годами. Обе методики картирования дают результаты не так сильно привязанные к текущей активности сгонно-нагонных явлений, поскольку опираются на границы относительно устойчивых объектов, таких как водная поверхность или сухой грунт. Хотя конечно и они не являются полностью свободными от влияния активного сгона или нагона.

Результирующее картирование изменений в расположении прибрежной зоны северо-восточного побережья осуществлялось между состояниями прибрежной зоны на 31 августа 2005 г. и 1 июня 2015 г. (южный фрагмент побережья также покрывался пролетом на 30 мая 2015 г.). В качестве пространственного ориентира использовался уровень (-28 м), взятый с топографической карты масштаба 1:1 000 000. На рис. 4 показаны результаты картирования.

**Результаты.** По данным картирования спутниковых снимков площадь осушения в северо-восточной части Каспийского моря в период между 2005 и 2015 гг. составила 5055 км<sup>2</sup>. Изменились морфометрические характеристики: образовались новые островки, заливы (рис. 5). В некоторых районах море отступило на 25 км.

Было проанализировано соотношение положения береговой линии на июнь 2015 г., с отметкой минус 28 м. Как видно на рис. 4, современная береговая линия в южной части уже вплотную приблизилась к линии минус 28 м. В тоже время в северной части побережья (рис. 4) различия в позициях между текущей береговой линией и изогипсой -28 м все еще существенны. Следует отметить, что для исключительно плоской равнины позиция береговой линии становится весьма чувствительной к процессам, формирующим рельеф, таким как водная эрозия или заиливание. Возможно, мы наблюдаем результат процесса переноса взвешенного материала от, размываемой нагонами, южной части побережья на север, где происходит отложение материала в зарослях тростника (заиливание).

На рис. 6 показаны данные Росгидромета по уменьшению площади водного зеркала для всего Каспийского моря за период с 2005 по 2014 гг. Как видно, площадь водной поверхности моря уменьшилась более чем на 11 тыс. км<sup>2</sup>, причем половина приходится на казахстанскую часть Северного Каспия.



М 1:1000000  
 в одном сантиметре 10 километров  
 км 10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 км

**Позиция береговой линии**

- согласно отметке -28 метров;
- по спутниковым данным LANDSAT-8 на 1 июня 2015 года;
- по спутниковым данным LANDSAT-7 на 31 августа 2005 года;

*Рис. 4. Изменения положения береговой линии в период современного падения уровня моря.*



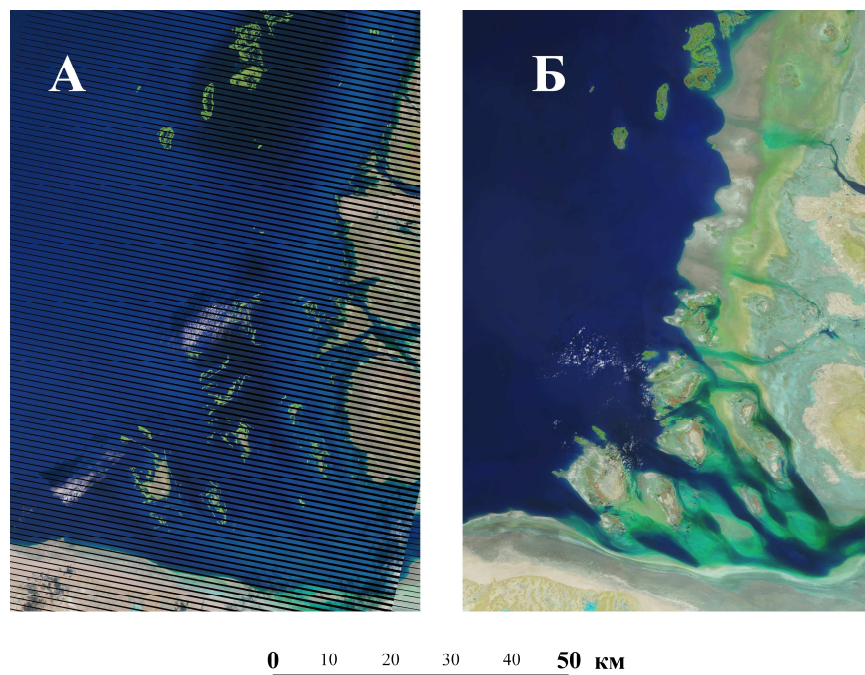


Рис. 5. Изменение морфологических характеристик в районе исследования. А – 2005 г., Б – 2015г.

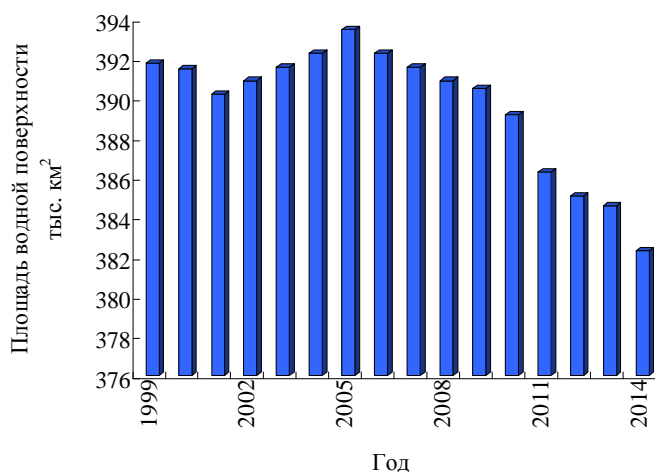


Рис. 6. Площадь водной поверхности Каспийского моря за период с 1999 по 2014 гг.

**Выводы.** В соответствии с прогнозом Росгидромета в 2015 г. ожидается понижение уровня на 20...30 см. Как отмечают исследователи, вероятность того, что в ближайшие годы падения уровня моря продолжится весьма высока [2]. При этом нельзя не отметить, что снижение уровня ни-

же отметки минус 28,0 м будет иметь последствия для его экосистемы. Обмеление протоков, сокращение нерестилищ, увеличение засоления приведет к сокращению площадей кормовых угодий для рыбного стада, что приведет к снижению уловов, и как следствие, создаст проблему рыбодобывающим предприятиям. Также снижение уровня существенно осложнит хозяйственную деятельность в прибрежной и мелководной зонах. Особенно уязвимыми будут хозяйствующие субъекты, связанные с работой портовых сооружений и морскими перевозками.

Отдельным вопросом стоит проблема водоохранной зоны береговой линии в Казахском секторе Каспийского моря. В связи с ее значительным смещением, без соответствующей коррекции ее позиции в нормативных документах, она, фактически, остается без защиты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берг Л.С. Уровень Каспийского моря за историческое время. / В кн.: Проблемы физической географии. – М.: 1934. – т. I, вып. 1. – С. 11-64.
2. Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря N 9 от 16 марта 2015 г. [http://www.caspc.com/files/CASPCOM\\_bulletin9\\_1.pdf](http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin9_1.pdf) (дата обращения 3.06.2015 г.)
3. Косарев А.Н., Дружинин С.Н. Изменяющееся Каспийское море // Человек и стихия. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 110-113.
4. Косарев А.Н., Никонова Р.Е. О причинах и последствиях колебаний уровня Каспийского моря в XX-XXI столетиях. // Труды ГОИН. – 2008. – Вып. 211. – С. 127-151.
5. Косарев А.Н., Никонова Р.Е. Современные колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, тенденции // Вестник Каспия. – 2006. – № 4 (60). – С. 40-59.
6. Никонова Р.Е. Уровень моря. Водный баланс. / В кн. Гидрология и гидрохимия морей. Т.6. Каспийское море, вып. 1 – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – С. 188-199, 211-221.
7. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. – Т. IV. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 359 с.
8. Садыков Ж.С., Голубцов В.В., Дуйсебаев Ж.Д. и др. Колебания уровня Каспийского моря и его прогноз // Доклады Национальной Академии наук РК. – 1995. – № 6. – С. 9-19.

