Александр В. Бочаров (1, 2, 3), Андрей Г. Костяной (2, 3, 4), Сергей А. Лебедев (3, 5, 6), Данил С. Волков (2)

(1) Тверской государственный университет

(2) Институт океанологии РАН

(3) Майкопский государственный технологический университет

(4) Московский университет им. С.Ю. Витте

(5) Геофизический центр РАН

(6) Московский институт электронной техники

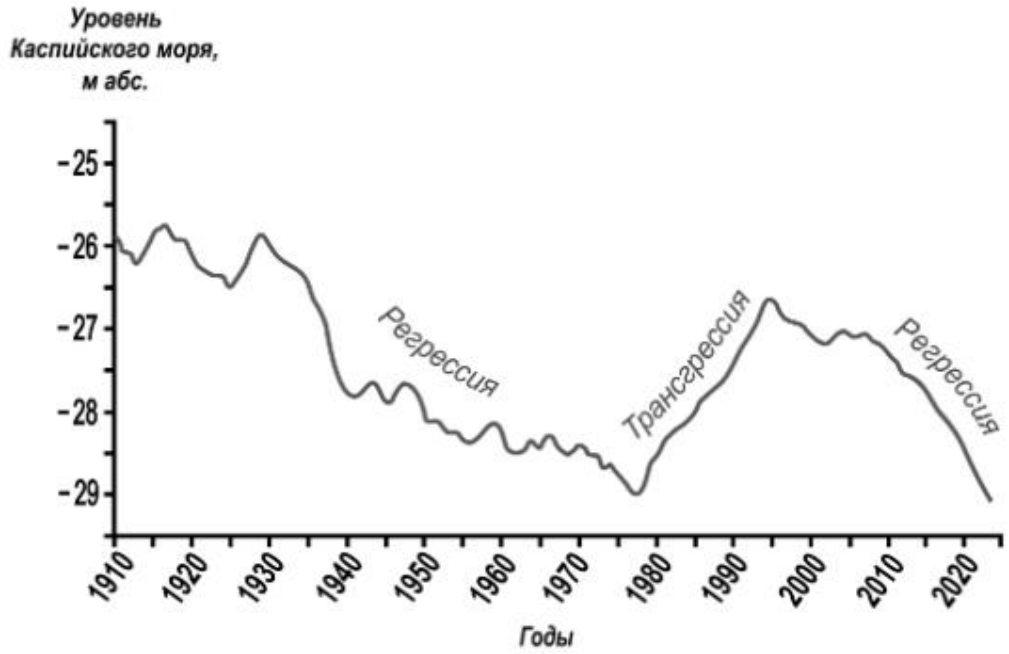
О сопоставимости данных об уровне Каспийского моря



Проблема изменений уровня Каспийского моря

В 1995 году уровень Каспийского моря был максимальным с 1930-х годов, но к 2026 году он существенно снизился до отметок ниже минимума 1977 года. Уровень Каспийского моря является очень актуальным вопросом. Но зачастую в сводках с разных уровенных постов и по данным спутниковой альтиметрии фигурируют отличающиеся значения уровня Каспийского моря. В данном исследовании мы пытаемся прояснить причину этих несоответствий.





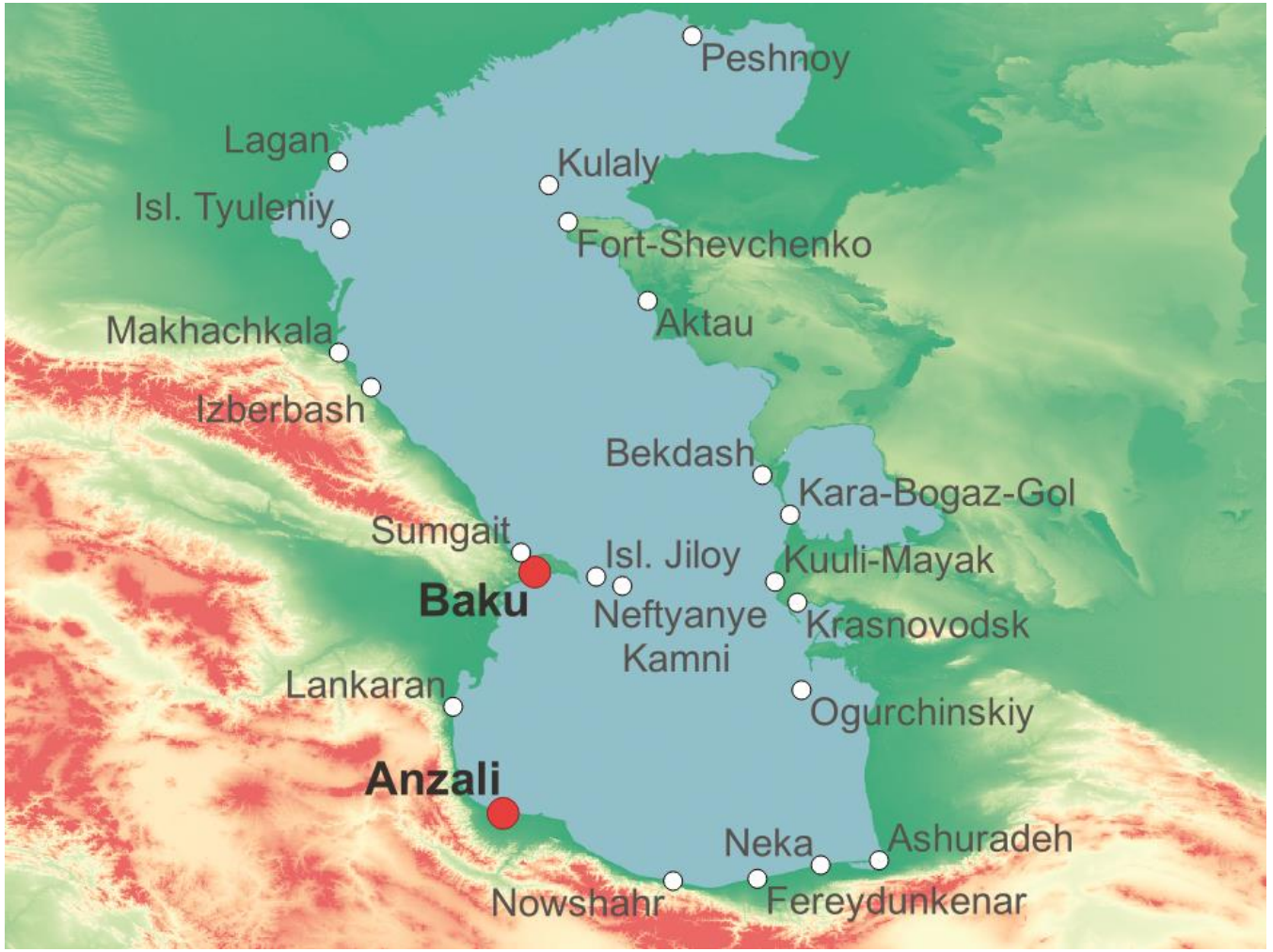
©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Причины расхождений в данных уровенных постов

Кроме сезонной и межгодовой изменчивости, отметки уровня воды на уровенных постах подвержены сгонно-нагонным и сейшевым колебаниям.

Также существует проблема привязки постов к единой абсолютной системе высот. Существенные неопределённости в данных об уровне Каспийского моря обусловлены также различиями в высотных основах, применяемых в странах бывшего СССР и в Иране. В странах бывшего СССР используется Балтийская система высот, а данные иранских измерений приводятся относительно уровня Персидского залива.

Наиболее длинным и часто используемым на постсоветском пространстве является ряд наблюдений на посту в Баку, а в Иране — на посту Энзели.



Действующие уровенные посты

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Данные измерений с уровенных постов

В работе использованы данные среднемесячных наблюдений уровенных постов, предоставленные Координационным комитетом по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (КАСПКОМ). Отметки уровня приводятся относительно нуля поста.

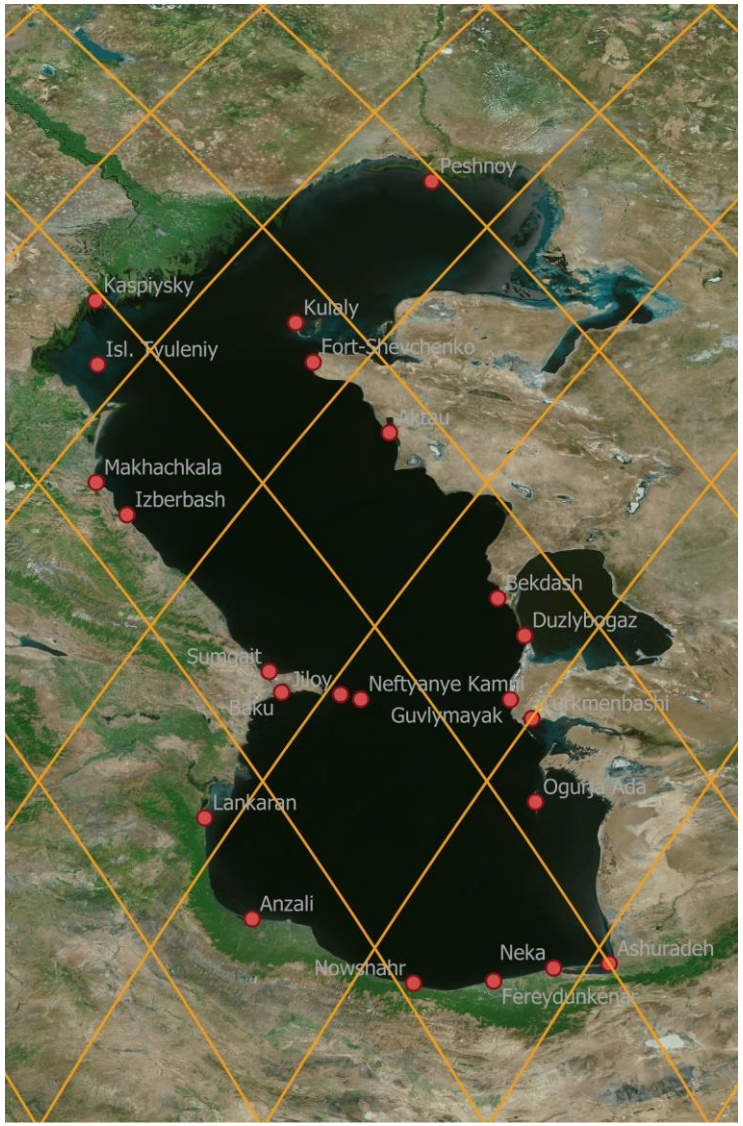
MONTHLY SEA LEVEL DATA
Post ___Baku_____
Opening date___1900_____
Position data: latitude __40° 21'_____, longitude___49° 50' _____
Observation data are adjusted to the unified datum for the whole observation period:
Post datum equals to _____28,0____ metres; Altitude system _Baltic system___
AVERAGE SEA LEVEL

Years	Months												year
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1900	198	198	199	201	207	221	234	231	215	204	207	199	210
1901	204	197	196	198	209	223	230	221	207	195	192	189	205
1902	187	183	182	184	189	200	214	216	205	197	194	195	196
1903	190	190	192	193	207	230	235	227	216	205	200	202	207
1904	200	197	199	202	204	214	221	216	208	198	191	190	203
1905	185	185	185	188	194	215	215	210	202	194	194	196	197
1906	194	194	188	195	207	218	224	216	208	199	196	193	203
1907	187	187	187	195	198	212	219	211	201	190	190	183	197
1908	181	182	179	183	192	209	224	217	207	197	196	193	197
1909	191	191	190	196	198	209	221	219	210	216	206	193	203
1910	179	192	189	187	194	204	203	189	177	165	163	151	183
1911	147	146	150	152	161	175	183	179	169	154	152	152	160
1912	151	149	149	150	160	178	189	183	165	160	153	157	162
1913	145	144	142	146	157	169	179	172	161	151	145	144	155
1914	141	142	146	150	156	175	198	186	175	172	168	166	165
1915	162	164	164	167	178	200	211	210	203	189	186	179	184
1916	180	180	177	179	191	208	218	217	207	195	189	198	195
1917	192	186	185	187	207	222	227	217	202	194	189	189	200

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Уровень Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии

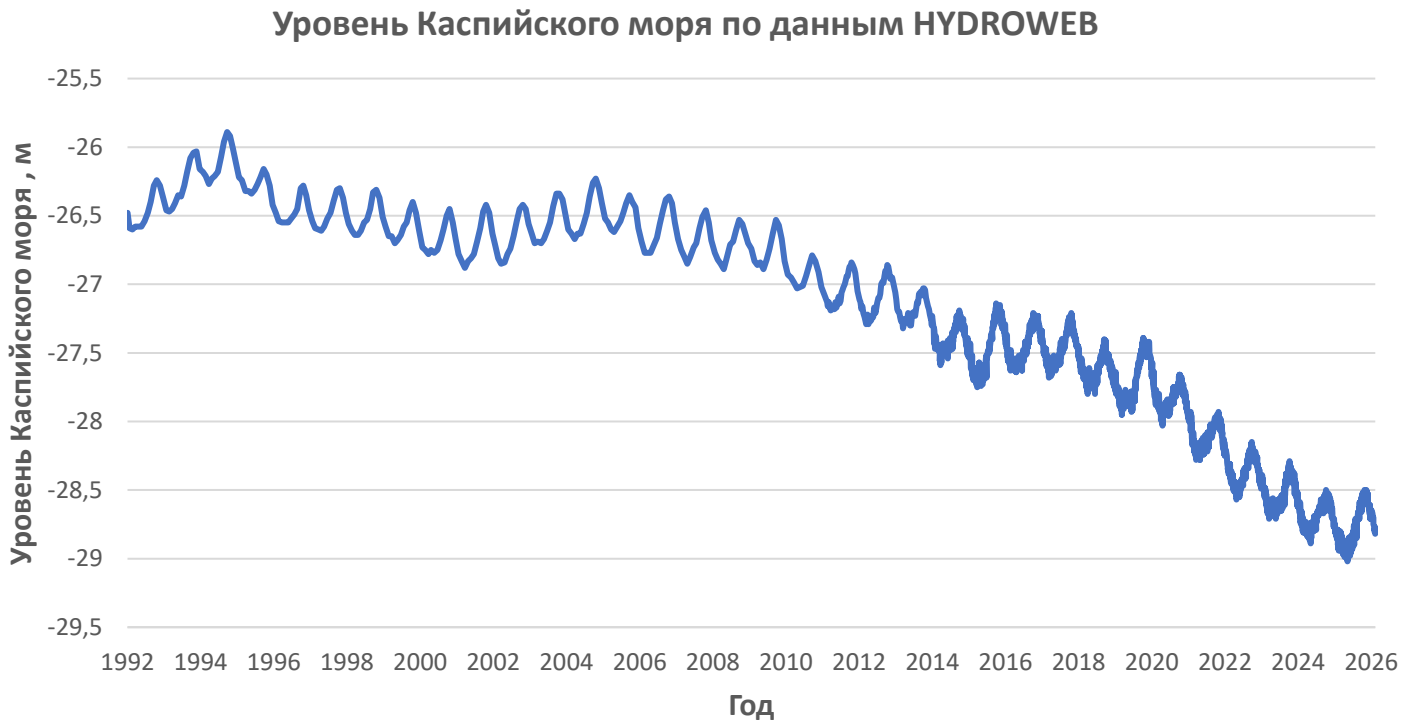
Спутниковые измерения уровня моря стали непрерывными и надёжными только после запуска миссии TOPEX/Poseidon в сентябре 1992 года. Поэтому для рассмотрения доступен только период 1992–2026 гг. Этот интервал особенно репрезентативен для анализа Каспийского моря: в 1992 году была разрушена дамба, отделявшая основную акваторию моря от залива Кара-Богаз-Гол, в результате чего залив вновь начал заполняться водой, а уровень Каспийского моря в 1995 году сменил долгосрочный тренд с роста на падение. В 1995 году уровень Каспийского моря достиг максимума с 1930-х годов, тогда как к 2026 году он существенно снизился до отметок ниже -29.0 м.



©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Данные об уровень Каспийского моря из базы HYDROWEB

В исследовании использованы данные базы **HYDROWEB** — специализированного сервиса и базы данных, предоставляющих информацию об уровне воды в крупных озёрах, водохранилищах и реках мира на основе спутниковой альтиметрии. Уровень воды определен относительно поверхности отсчета GGMO2C



Минимальный уровень Каспийского моря по данным **HYDROWEB**

-29,02 м

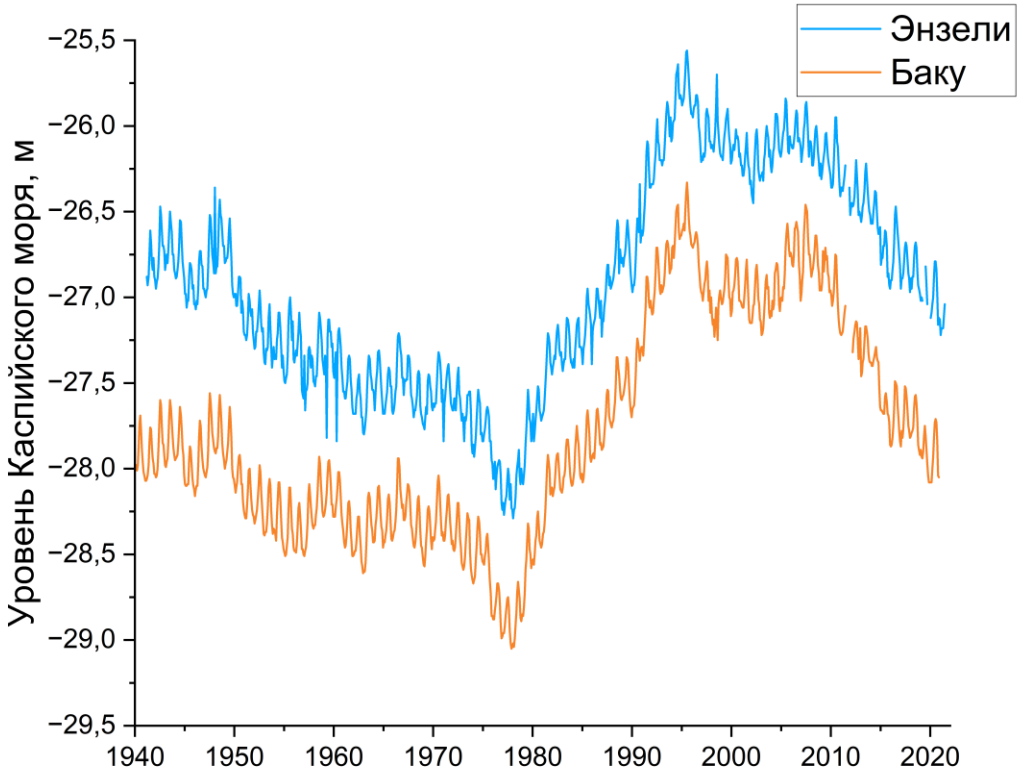
зафиксирован 03.02.2026

Самая последняя запись 06.11.2026

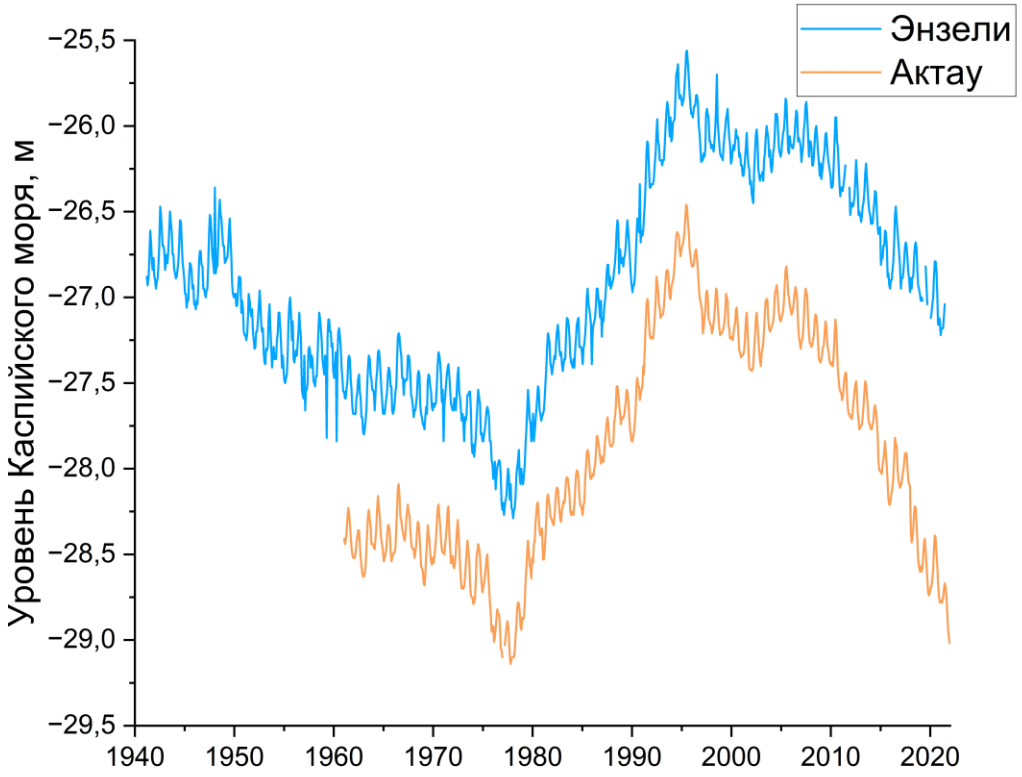
-28,82 м

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Разница между данными измерений на уровенных постах Ирана и стран бывшего СССР



(а)



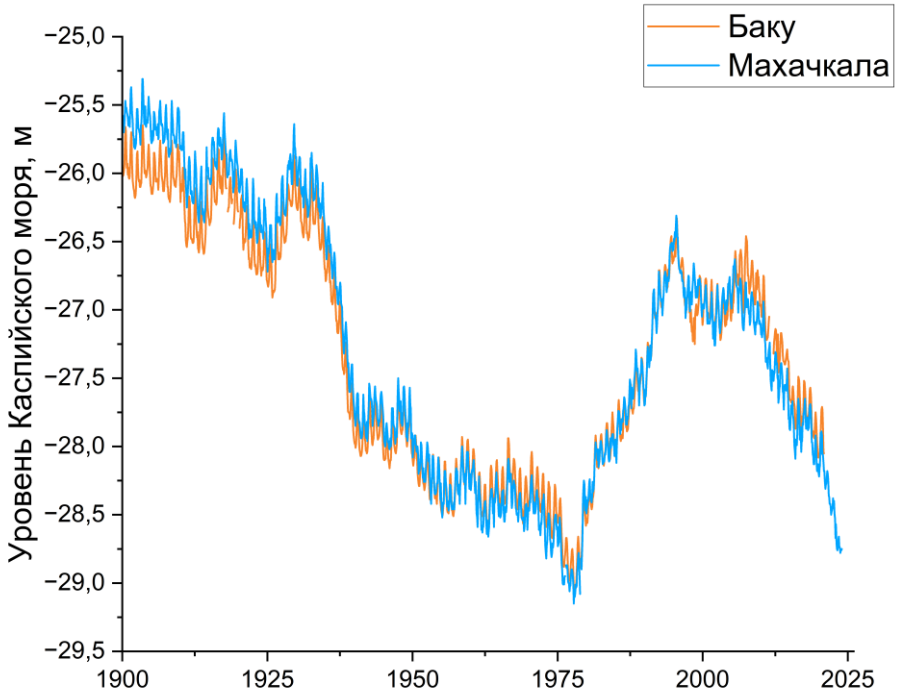
(б)

Сезонная и межгодовая изменчивость уровня Каспийского моря (м). Разница между данными измерений на уровенных постах Ирана и стран бывшего СССР, связанные с различиями в высотных основах: (а) Энзели - Баку; (б) Энзели - Актау

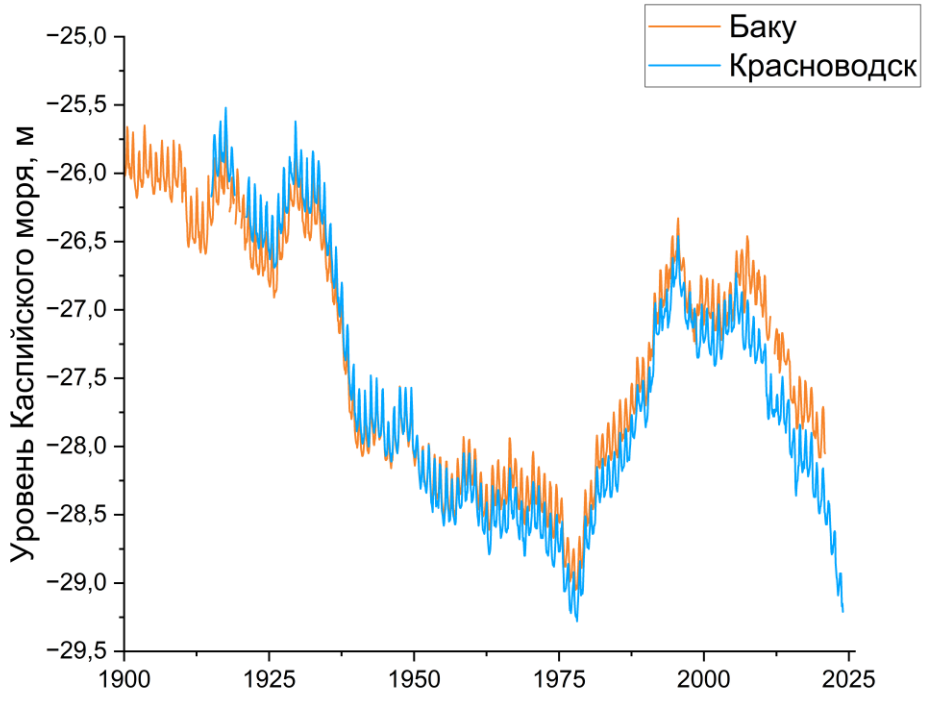
©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Разница уровней моря между постами, обусловленная тектоническими движениями

Важным фактором являются современные тектонические движения на побережье Каспийского моря, которые приводят к вертикальным перемещениям нулей уровенных постов. Эти движения разнонаправлены в различных частях моря и характеризуются неодинаковыми скоростями перемещений. Согласно данным ранее проведённых исследований, наиболее отчётливо проявляется опускание Бакинского футштока.



(а)



(б)

Сезонная и межгодовая изменчивость уровня Каспийского моря (м). Разница уровней моря между постами обусловлена тектоническими движениями: (а) Баку -Махачкала; (б) Баку – Красноводск (Туркменбаши)

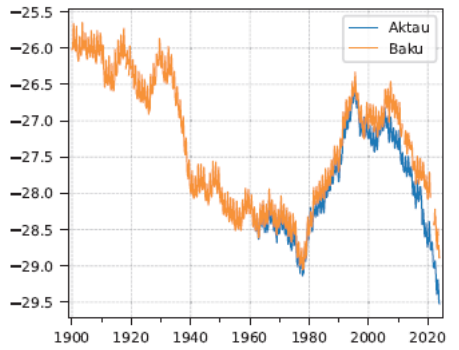
©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Сравнение пар уровенных постов

Проведено сравнение 23 уровенных постов между собой — всего составлены отчёты по 253 парам. Оценивались разности уровней, строились точечные диаграммы и были получены статистические характеристики корреляционного анализа.



Уровенные посты Актау и Баку
Tide gauges at Aktau and Baku



Уровень моря (м) на постах Актау и Баку
Sea level (m) at Aktau and Baku

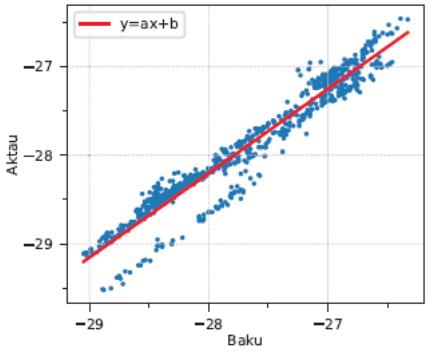
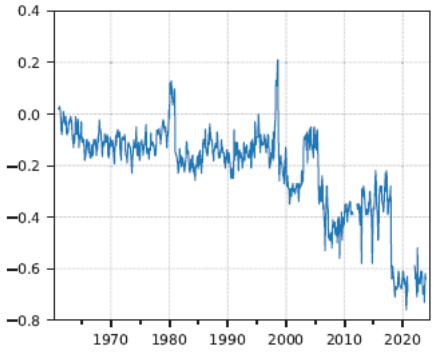


Диаграмма рассеяния уровней моря (м) на постах Актау и Баку
Scatter plot of sea level (m) at Aktau and Baku



Разница уровней (м) на постах Актау и Баку
Sea level (m) difference at Aktau and Baku

Статистические характеристики корреляционного анализа (1961-2023)
Statistical characteristics of the correlation analysis (1961-2023)

	N	a	b	Bias	SD	RMSE	r	R^2
Актау / Баку	732	0.949	-1.622	-0.218	0.176	0.280	0.97	0.94

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Выявление аномалий в парах постов

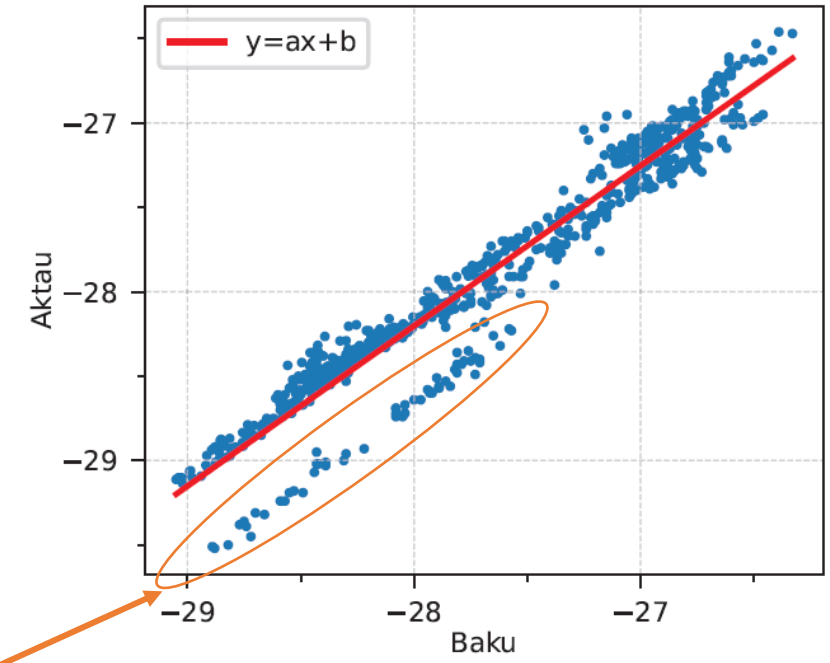


Диаграмма рассеяния уровней моря (м) на постах Актау и Баку

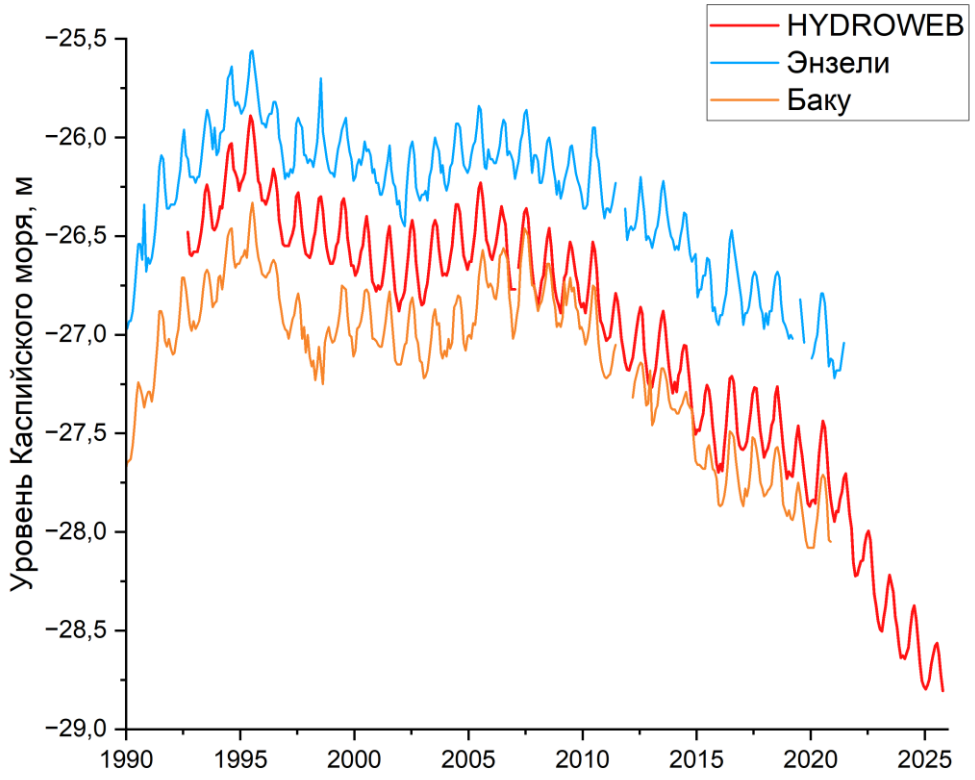
Scatter plot of sea level (m) at Aktau and Baku

Предположительно, отскок связан с переносом рейки

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Сравнение уровень Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии и измерений уровенных на постах

Данные HYDROWEB, несмотря на калибровку, имеют смещение относительно измерений на постах, но они не подвержены влиянию вертикальных тектонических движений земной коры и отклонениям при установлении нулей уровенных постов. Поэтому они могут быть использованы для связи высотных основ относительно Балтийского моря и Персидского залива, а также для оценки скорости и направления вертикальных движений земной коры (уровенных постов) относительно центра масс Земли.



Среднемесячные значения уровня Каспийского моря в 1990-2025 гг. на постах Баку и Энзели, а также по данным HYDROWEB

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Сравнении данных HYDROWEB с фактическими измерениями

При сравнении данных HYDROWEB с осреднёнными фактическими измерениями было установлено, что на постах бывшего СССР уровень в среднем ниже, чем по данным HYDROWEB на **0,43 м**, на иранских выше на **0,49 м**.

	bias
HYDROWEB/AKTAU	-0,60107
HYDROWEB/ANZALI	0,53024
HYDROWEB/ASHURADE	0,48818
HYDROWEB/BAKU	-0,29935
HYDROWEB/BEKDASH	-0,46957
HYDROWEB/FORTSHEVCHENKO	-0,47435
HYDROWEB/FREINDUKENAR	0,44021
HYDROWEB/ISBERG	
HYDROWEB/JILOY	-0,22824
HYDROWEB/KARABOGAZGOL	-0,54324
HYDROWEB/KRASNOVODSK	-0,5972
HYDROWEB/KULALI	-0,47357
HYDROWEB/KUULIMAYAK	-0,62476
HYDROWEB/LAGAN	-0,21484
HYDROWEB/LENKORAN	-0,4358
HYDROWEB/MAKHACHKALA	-0,3787
HYDROWEB/NEFTKAMNI	-0,25785
HYDROWEB/NEKA	0,47486
HYDROWEB/NOUSHAHR	0,51263
HYDROWEB/OGURCHINSKIY	-0,50584
HYDROWEB/PESHNOY	-0,51874
HYDROWEB/SUMGAIT	-0,30133
HYDROWEB/TULENIY	-0,46038

	bias	bias
	-0,60107	
		0,53024
		0,48818
	-0,29935	
	-0,46957	
	-0,47435	
		0,44021
	-0,22824	
	-0,54324	
	-0,5972	
	-0,47357	
	-0,62476	
	-0,21484	
	-0,4358	
	-0,3787	
	-0,25785	
		0,47486
		0,51263
	-0,50584	
	-0,51874	
	-0,30133	
	-0,46038	
Среднее	**-0,434**	**0,489**

Балтийская система высот
Система высот от уровня Персидского залива



©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Основные результаты

1) Для корректного сопоставления данных об уровне Каспия необходимо учитывать различия в национальных системах высот и скорость вертикальных тектонических движений берегов

2) Спутниковая альтиметрия может выступить ключевым инструментом для калибровки береговых наблюдений и сравнения данных в различных системах высот

3) При сравнении данных HYDROWEB с фактическими измерениями было установлено, что на постах бывшего СССР уровень в среднем ниже, чем по данным HYDROWEB на 0,43 м, на иранских выше на 0,49 м. Таким образом установлена средняя разница измерений между иранскими и постсоветскими постами, которая составляет 0,92 м.

4) В ходе проведения сравнения ретроспективных данных с уровенных постов были обнаружены скачки уровня из-за переносов водомерной рейки на постах

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Благодарности: Исследования выполнено в рамках темы Госбюджета FMWE-2026-0004 «Моделирование компонентов водного баланса Каспийского моря на перспективу до конца XXI в. для оценки сценариев будущих изменений водного баланса. Разработка рекомендаций по адаптации населения и хозяйствующих субъектов к изменениям уровня Каспия.»

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Волков Д.С.

Спасибо за внимание!