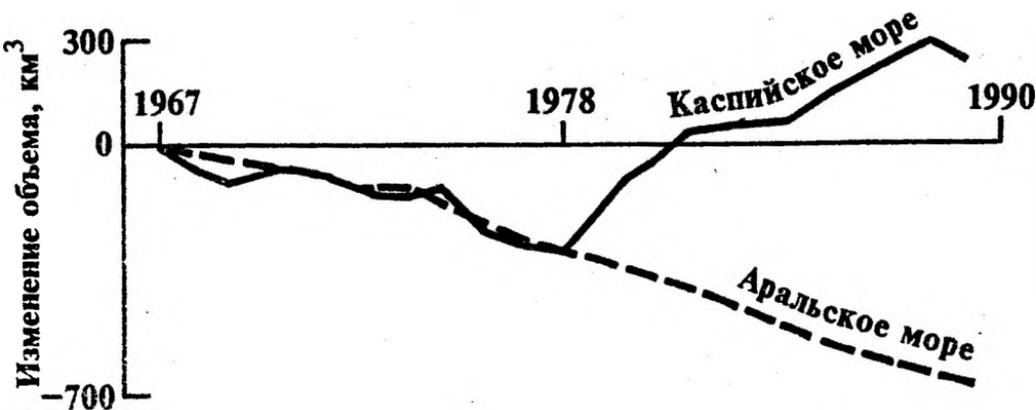


*М. И. Кривошей*

# АРАЛ И КАСПИЙ

(причины катастрофы)



Санкт-Петербург  
1997



*Кривошей Майя Ивановна — кандидат технических наук. В 1955-1958 гг. участвовала в экспедиции на целинных и залежных землях Казахстана и Алтайского края, соавтор монографии по их водным ресурсам. В дальнейшем занималась моделированием волн цунами (тема кандидатской диссертации), ветровыми волнами на озерах и водохранилищах, проблемами падения уровня воды на озерах Иссык-Куль и Балхаш (соавтор монографии). Проблемами Каспия и Арала занимается с 1988 г. Автор более 40 научных публикаций.*

# СОДЕРЖАНИЕ

От автора . . . . .	4
Введение . . . . .	7
<b>ЧАСТЬ I. Каспийское море</b>	
Глава 1. Водный баланс Каспийского моря . . . . .	12
1.1. Невязки водного баланса Каспийского моря и уравнения регрессии речного стока с климатическими факторами . . . . .	23
Глава 2. Некоторые закономерности сильных землетрясений в котловине Каспийского моря . . . . .	33
Глава 3. Особенности уровня режима Каспийского моря в современный период . . . . .	41
Глава 4. Вклады климатического и тектонического факторов в колебания уровня Каспийского моря . . . . .	52
<b>ЧАСТЬ II. Аральское море</b>	
Глава 1. Приток воды из зоны формирования стока и в море . . . . .	59
1.1. Потери стока в бассейне Амударьи . . . . .	62
1.2. Потери стока в бассейне Сырдарьи . . . . .	73
Глава 2. Водный баланс Аральского моря и причины падения его уровня . . . . .	79
Глава 3. Сравнение уровней и изменений объемов Аральского и Каспийского морей . . . . .	84
Глава 4. Разгрузка фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря . . . . .	91
Глава 5. Влияние осадков на параметры землетрясений . . . . .	100
Заключение . . . . .	107
Список литературы . . . . .	111
Приложения . . . . .	114

## От автора

Эта книга является результатом многолетних исследований в совершенно новой для гидрологии области взаимодействия гидросферы с процессами в глубоких слоях Земли. Свой первый опыт я получила почти 15 лет назад, занимаясь проблемой падения уровня озера Иссык-Куль. Мой вывод о существовании подземного оттока из озера в нижерасположенную р. Чу [1], был, как принято говорить, "неодобрен" Ученым Советом Государственного Гидрологического института. Сейчас, по прошествии многих лет, да отчасти и тогда тоже, я понимаю, что причиной неприятия были чисто политические мотивы. Весь ученый мир в гидрологии был заиклен на перебросках стока рек. Надо было, по мнению многих, перебрасывать сток р. Сары-Джаз и в бассейн озера Иссык-Куль, ибо, если орошение является причиной падения уровня, то воду надо забирать из внешнего источника. Я же показала, что не орошение, а отток воды обуславливает падение уровня.

Переброска стока — это работа для Минводхоза и многочисленного клана ученых, диссертации и пр. Только усилиями ученых Москвы удалось предотвратить переброску стока северных рек в Каспийское море, уровень которого, как бы в отместку некомпетентности, начал повышаться.

Я не боролась против переброски, но выводы о причинах падения уровня озера были против нее. Отчаянные попытки доказать очевидное, вытекающее из анализа многочисленных фактических данных (из озера вода уходит, в р. Чу приходит — и процесс оттока регулируется сильными землетрясениями) закончились для меня плачевно. Меня удалили из стен института под предлогом снижения творческой активности и достижения пенсионного возраста.

Но, как говорится, нет худа без добра. При признании моих разработок, я никогда не занялась бы проблемами Каспия и Арала, к которым обратилась вследствие стремления показать, что не

только в Иссык-Куле, но и в других сейсмически активных районах процессы в земной коре оказывают влияние на водный режим.

Первые результаты исследований по Каспию были доложены на семинаре в Институте математики им. Стеклова (Москва), организованном учеными, предотвратившими переброску стока. На этом семинаре я познакомилась с известным ученым-геологом академиком Шилов Николаем Алексеевичем. Наши взгляды совпали. Николай Алексеевич давно полагал, что ослабление напряжений в земной коре приводит к оттоку воды, а увеличение — к выжиманию подземных вод. После публикации его первой программной статьи по проблеме Каспия, дальнейшие исследования мы проводили совместно, опубликовав ряд статей не только по Каспию, но и по Аралу. Я благодарна судьбе за встречу с Н. А. Шилов, ибо без его поддержки ни одна моя статья не увидела бы свет.

Первые сомнения в выжимании подземных вод в Каспий в современный период у меня возникли после ознакомления с работами ныне покойного сотрудника Гидрологического института доктора географических наук Вольцуна Иосифа Борисовича, который показал, что из Амударьи и Сырдарьи в зоне орошения существует отток воды. Он же, кстати, обнаружил, что в р. Чу разгружается вода, объем которой оказался равным оттоку из Иссык-Куля.

Куда же уходит вода из Амударьи? Занявшись зоной формирования стока (горы), где вода не забирается на орошение, я обнаружила, что и там существует отток. Громадное количество воды, составляющее в некоторые годы больше половины годового стока, исчезает, куда-то проваливается. А может быть не проваливается, а перетекает в бассейн Каспийского моря? Ответы на эти вопросы — в книге.

К сожалению, ученые-гидрологи, способные нетрадиционно мыслить и воспринимать новое, ушли из жизни. Нет выдающегося гидролога-математика Алексеева Георгия Анисимовича, нет блестящего экспериментатора и аналитика Браславского Александра Петровича, нет Вольцуна Иосифа Борисовича, никогда не стремящегося „увязать” водный баланс, способствуя этим открытию новых явлений.

Будучи в преклонном возрасте, почти слепые, Г. А. Алексеев и А. П. Браславский приехали в Москву, чтобы поддержать меня в очередной бесполезной попытке доказать очевидное (доклад по Иссык-Кулю). Если бы они были живы, то предисловие к книге писала бы не я.

Выражаю искреннюю благодарность профессору кафедры геоморфологии Санкт-Петербургского Университета Скубловой Нине Валентиновне и доценту кафедры Мусатову Юрию Евгеньевичу за поддержку и постановку моего доклада на юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения выдающегося геоморфолога профессора Шульца Сергея Сергеевича.

Приношу извинения многим исследователям Каспия и Арала за отсутствие ссылок на их работы. Эта книга — не справочное издание и не обзор литературы. В ней содержатся ссылки только на те источники, которые использованы в работе или с которыми я не согласна.

В книге мало текста и много таблиц и рисунков. Думаю, что это не затруднит, а облегчит восприятие.

*М. И. Кривошей*

## Введение

В 1961 г. началось падение уровня Аральского моря, наиболее интенсивный спад которого совпал с подъемом уровня Каспия, начавшегося в 1978 г.

В 1951—1977 гг. объем Аральского моря уменьшился на 358 км<sup>3</sup>, Каспийского — на 352 км<sup>3</sup>. В 1967—1977 гг. кривые уменьшения объемов морей практически совпадали. В 1978—1989 гг. объем Аральского моря уменьшился на 401 км<sup>3</sup>, а Каспийского увеличился на 496 км<sup>3</sup>. Такие совпадения, не замеченные ранее специалистами, не могут быть случайными

Последствиям катастрофического высыхания Аральского моря посвящено много работ. Не менее катастрофическим является и подъем уровня Каспийского моря, который привел к затоплению обширных территорий, авариям на трубопроводах, ЛЭП, переносу жилых поселков и другим негативным последствиям. Так, например, к концу 1993 г. в Дагестане площадь затопленных земель составила более 150 тыс. га [2], в Калмыкии — 70 тыс. га [3]. В целом, в результате подъема уровня "нарушена нормальная деятельность на прибрежной территории России площадью более 1 млн га" [4].

В 1978—1994 гг. уровень Каспийского моря повысился на 2,39 м (141 мм/год). За период инструментальных наблюдений над уровнем были и более интенсивные подъемы. Так, в 1914—1916 гг. скорость подъема уровня составила 173 мм/год, в 1926—1929 — 157 мм/год. Однако, начиная с 1880 г., современный подъем по своей длительности превышает все предыдущие.

В объяснении причин падения уровня Аральского моря не существует альтернативных точек зрения. Все авторы считают его следствием увеличения орошаемых площадей и соответственно антропогенных изъятий стока рек Амударьи и Сырдарьи, что, учитывая приведенные выше соотношения между изменениями

объемов Аральского и Каспийского морей, может являться одной, но не единственной причиной.

В объяснении причин подъема уровня Каспийского моря существует несколько гипотез: климатическая, тектоническая и объясняющая подъем интенсивным подземным питанием моря.

Сторонники климатической концепции считают причиной повышения уровня увеличение осадков на водосборах рек и уменьшение испарения с акватории моря. Однако, аргументация климатологов не подкреплена фактическими данными и соответствующими расчетами.

По данным А. В. Мещерской с соавторами, осадки теплого периода (апрель—октябрь) на водосборах Волги и Урала в 1976—1989 гг. увеличились относительно 1891—1975 гг. всего на 5,4 %, а осадки холодного периода (ноябрь—март) — на 0,5 %. Температура воздуха теплого периода не изменилась, холодного — увеличилась на 0,7 °С [5].

По неопубликованным данным А. В. Мещерской, любезно предоставленным автору, осадки за календарный год в 1978—1994 гг. увеличились относительно 1892—1977 гг. на 11 мм (2,6 %), а температура воздуха теплого периода повысилась на 0,1 °С, что должно было обусловить увеличение испарения с суши.

Поверхностный приток в море выше нормы был в 1978, 1979, 1981, 1985, 1990, 1991 и 1994 гг., а осадки на водосборах рек выше нормы были только в 1978, 1985 и 1990 гг., в остальные годы — ниже нормы.

Пониженное испарение с акватории моря, полученное М. Г. Хубляряном в [6], рассчитано по метеорологическим данным на прибрежных и островных станциях. Между тем, коэффициенты перехода от измерений скорости ветра по флюгеру над сушей к водной поверхности резко увеличиваются при малых скоростях ветра, наблюдающихся на суше в некоторые годы. Недоучет этого обстоятельства привел к занижению испарения и в расчетах Государственного Океанографического Института (ГОИН), опубликованным в [7].

Однако, даже при заниженном испарении подъем уровня в 1990—1993 гг. составил не 85 мм/год, как вытекает из данных М. Г. Хубляряна, а 140 мм/год, что свидетельствует о систематических невязках водного баланса, полученных и в других работах. Так, например, по данным ГОИНа, в 1989—1994 гг. средняя

положительная невязка, означающая неучитываемый в расчетах приток воды в море, составила около 120 мм/год.

В статистической модели прогноза уровня Каспийского моря по метеорологическим данным на водосборах Волги и Урала, А. В. Мещерская также получила систематическую положительную невязку. В 1987—1991 гг. фактический подъем уровня был на 85 мм/год выше рассчитанного [8].

Утверждение некоторых климатологов о параллельном ходе приращений осадков на суше и акватории моря является несостоятельным [9]. В 1892—1994 гг. только в 52 % случаев они совпадали. А в 1978—1994 гг. незначительное увеличение осадков на суше сопровождалось их уменьшением над акваторией моря (на 7 мм).

Таким образом климатическая гипотеза, лишь частично подтверждающаяся фактическими данными, не может быть признана основной.

Сторонники тектонической гипотезы считают, что в результате увеличения горизонтальных напряжений в земной коре и обусловленных ими вертикальных движений происходит изменение ложа моря и повышение уровня [10, 11]. Наиболее полное изложение современных данных о тектонических движениях содержится в обобщенной статье Д. А. Лилиенберга [12].

В настоящий период скорости горизонтальных движений достигают 2—5 см/год, вертикальных 1—6 см/год. Однако, это не означает адекватного изменения объема впадины. К тому же вертикальные поднятия на восточном побережье сопровождаются опусканиями на западном, что свидетельствует о волновом пространственном характере вертикальных движений [10]. Не исключено, что и горизонтальные движения имеют колебательный характер и сжатие Среднего и Южного Каспия, характерное для современного подъема уровня, сопровождается ослаблением горизонтальных напряжений вокруг Северного. Поэтому нельзя не согласиться с авторами тектонической гипотезы о недостаточности фактических данных о тектонических движениях по всему периметру моря и необходимости организации геодинамического мониторинга.

Некоторые исследователи считают, что вертикальные движения вообще не оказывают влияния на уровень моря. Так, например, Н. Ф. Федоров, много лет исследующий скорости

тектонических движений по деформации древних береговых линий, отмечает [13], что "еще...геолог Туголесов [14], проведя соответствующие расчеты, пришел к выводу, что деформации впадины Каспия вообще не могут вызвать изменений его уровня".

М. Л. Копп и И. Г. Щерба показали, что деформации впадины вызывают только изменения конфигурации бассейна и его глубины [15].

Поэтому геодинамический мониторинг должен сопровождаться систематическими батиметрическими съемками, при отсутствии которых сопоставления величин горизонтальных и вертикальных движений с приращениями уровня теряют смысл.

По мнению Б. Н. Голубова, современный подъем уровня Каспия обусловлен интенсивной разгрузкой напорных вод, являющейся следствием ядерных взрывов [16]. Ими же вызвана, по концепции Б. Н. Голубова, активизация тектонической деятельности в котловине моря [17]. К сожалению, Б. Н. Голубов не приводит сравнения общего количества или количества сильных землетрясений с повторяемостью ядерных взрывов. Проведенные автором сопоставления свидетельствуют о существовании некоторой корреляции между количествами ядерных взрывов и сильных (магнитуда  $M \geq 4,5$ ) землетрясений. Поэтому нельзя пренебрегать отмеченным Б. Н. Голубовым эффектом. Следует заметить, что им впервые была высказана гипотеза о существовании оттока из Каспийского моря [18], подтвержденная впоследствии расчетами автора.

Академик Н. А. Шило считает, что фазы ослабления горизонтальных напряжений в земной коре сопровождаются оттоком воды из моря, а увеличения—выжиманием поровых вод [19]. В последующих работах Н. А. Шило, выполненных совместно с автором, показано, что отток поверхностных и приток подземных вод в море, полученные по невязкам водного баланса, тесно коррелируются с параметрами сильных землетрясений в котловине моря, а современный подъем уровня обусловлен интенсивной разгрузкой подземных вод [20—22].

Весьма дискуссионен вопрос об источнике поступления подземных вод в море. Гипотеза о выжимании поровых вод была впервые подвергнута авторами сомнению в работе [23], где было показано, что фильтрационные потери стока Амударьи в зоне

орошения практически совпадают с положительными невязками водного баланса Каспия.

В настоящей работе приводятся новые, нигде не опубликованные данные автора, свидетельствующие о внешнем источнике поступления подземных вод не только в море, но и впадающие в него реки.

Расчеты основаны на анализе водного баланса Каспийского и Аральского морей, установлении генезиса естественных потерь стока Амударьи и Сырдарьи и взаимосвязи процессов в атмосфере, гидросфере и литосфере. Насколько удался автору синтез этих процессов в двух сопряженных регионах, предоставляется судить заинтересованным в проблеме специалистам.

# ЧАСТЬ I

## Каспийское море

### Глава 1. ВОДНЫЙ БАЛАНС КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Уравнение водного баланса имеет вид:

$$Q_{\text{пов}} + X - E - Q_{\text{кбг}} \pm Q_{\text{пз}} = \pm \Delta V, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пов}}$  — поверхностный приток в море,  $X$  — осадки,  $E$  — испарение,  $Q_{\text{кбг}}$  — отток воды в залив Кара-Богаз-Гол,  $Q_{\text{пз}}$  — подземный приток или отток из моря,  $\Delta V$  — изменение объема моря.

#### *Поверхностный приток*

Величины поверхностного притока, включающего постоянный подземный в объеме  $5 \text{ км}^3/\text{год}$ , в 1892—1983 гг. взяты по расчетам Ю. В. Георгиевского [24], в 1984—1994 гг. — по расчетам Государственного Океанографического института.

Наиболее корректный анализ влияния природных факторов на поверхностный приток, 80 % которого составляет сток Волги, был сделан А. В. Мещерской, рассчитавшей осадки и температуру воздуха взвешиванием по площадям водосборов Волги и Урала с 1892 по 1996 гг. [5, 25]. Эти данные были любезно предоставлены нам и использованы в анализе.

А. В. Мещерская показала, что поверхностный приток наиболее тесно связан с осадками в предшествующем году.

В настоящей работе составлено уравнение множественной регрессии поверхностного притока с климатическими факторами:

$$Q_{\text{пов}} = a_0 + a_1 X_n + a_2 X_{n-1} + a_3 \Delta t, \quad (2)$$

где  $X_n, X_{n-1}$  — годовые суммы осадков в текущем и предшествующем годах,  $\Delta t$  — отклонение температуры воздуха за теплый период (апрель—октябрь) от нормы,  $a_i$  ( $i = 1...3$ ) — коэффициенты уравнения,  $a_0$  — свободный член.

При отыскании коэффициентов уравнения (2) рассмотрены 2 модели. В модели 1 использован весь ряд наблюдений над стоком, в модели 2 исключен период наполнения водохранилищ (1951—1973 гг.).

Уравнения регрессии для 2-х моделей имеют вид:

$$Q_{\text{пов}} = 0,89 X_n + 1,24 X_{n-1} - 18,43 \Delta t - 139,2, \quad (3)$$

$$Q_{\text{пов}} = 0,93 X_n + 1,25 X_{n-1} - 23,67 \Delta t - 159,7. \quad (4)$$

В табл. 1 приведена матрица парных коэффициентов корреляции между составляющими уравнений: в числителе для модели 1, в знаменателе — для модели 2. Как видно из этой таблицы, коэффициенты корреляции для обеих моделей незначительно отличаются друг от друга. Поверхностный приток наиболее тесно связан с осадками предшествующего года, приток и осадки в текущем году связаны обратной связью с отклонениями температуры воздуха от нормы, множественный коэффициент корреляции равен 0,7.

Таблица 1

Матрица парных коэффициентов корреляции между составляющими уравнений (3) и (4)

	$X_n$	$X_{n-1}$	$\Delta t$	$Q_{\text{пов}}$
$X_n$	1	$\frac{0,04}{0,11}$	$\frac{-0,49}{-0,49}$	$\frac{0,43}{0,49}$
$X_{n-1}$		1	$\frac{-0,02}{-0,06}$	$\frac{0,54}{0,57}$
$\Delta t$			1	$\frac{-0,30}{-0,35}$
$Q_{\text{пов}}$				1

В табл. 2 приведены расчеты притока по двум моделям при средних, максимальных и минимальных значениях осадков и  $\Delta t$ . Максимальная разность между величинами притока не превышает 21 мм (2 %). Таким образом, наполнение водохранилищ не оказало существенного влияния на годовой сток Волги, обусловив только его перераспределение внутри года. Аналогичный вывод будет получен ниже, при анализе вкладов различных факторов в колебания уровня моря.

Таблица 2

Расчет поверхностного притока по моделям 1—2 при средних, максимальных и минимальных значениях осадков и отклонениях температуры воздуха от нормы

$X_n$ мм	$X_{n-1}$ мм	$\Delta t$ °C	Приток, мм/год	
			модель 1	модель 2
418	417	0	750	754
540	566	-1,6	1072	1093
288	288	1,9	439	426

Влияние хозяйственной деятельности на годовой сток также не выявлено. Вследствие равенства притока, рассчитанного по двум моделям, в дальнейшем использована модель 1 с более длинным и непрерывным рядом наблюдений.

Приток, рассчитанный по уравнению (3), будем называть климатическим. Невязки уравнения  $\delta_p$  равны разности между фактическим и климатическим притоком (индекс "р" означает речной сток).

В табл. 3 приведены вклады климатических факторов (осадки, температура воздуха) и невязок  $\delta_p$  в суммарную дисперсию. Максимальный вклад принадлежит невязкам, минимальный — температуре воздуха.

В 1892—1977 гг. фактический поверхностный приток был меньше климатического на 2,7 км<sup>3</sup>/год (7 мм), что составляет 17 % от снижения уровня моря.

В 1978—1994 гг. фактический сток был больше климатического на 26 км<sup>3</sup>/год (67 мм), что составляет 48 % от повышения уровня моря (141 мм/год). Таким образом, повышенный сток в период

Вклады климатических факторов и невязок уравнения (3)  
в суммарную дисперсию (%)

Факторы	Вклад в дисперсию
$X_n$	19
$X_{n-1}$	27
$\Delta$	1
$\delta_p$	53

подъема уровня моря был обусловлен преимущественно не климатическими факторами. Действительно, как видно из рис. 1, поверхностный приток до 1978 г. неплохо согласовывался с осадками, а в 1978—1994 гг. согласование наблюдалось только при минимальных значениях притока.

Среднегодовое количество осадков в 1892—1977 гг., по данным А. В. Мещерской, были равны 416 мм, в 1978—1994 гг. — 427 мм, т. е. увеличились незначительно. Отклонение температуры воздуха за теплый период от нормы до подъема уровня моря было равно нулю, в 1978—1994 гг. 0,11 °С.

Незначительное увеличение осадков в сочетании с повышением температуры воздуха, т. е. с увеличением испарения с суши, не могли обусловить столь значительный рост поверхностного притока. Об этом свидетельствуют также данные [25] где А. В. Мещерской с соавторами показано, что осадки и температура воздуха на суше оказывают влияние только на отклонения годовых приращений уровня моря от осредненной кривой подъема. Следовательно, причиной повышенного стока является интенсивное подземное питание рек, что подтверждается расчетами модульных коэффициентов минимального зимнего стока в бассейне Волги, проведенными в отделе подземного стока Государственного Гидрологического Института (ГГИ).

Расчеты проводились по 47 створам в бассейне Верхней Волги и 36 створам в бассейне Камы с наиболее длинными рядами наблюдений и условно естественным режимом. Как видно из табл. 4, в целом по бассейну Волги модульные коэффициенты увеличи-

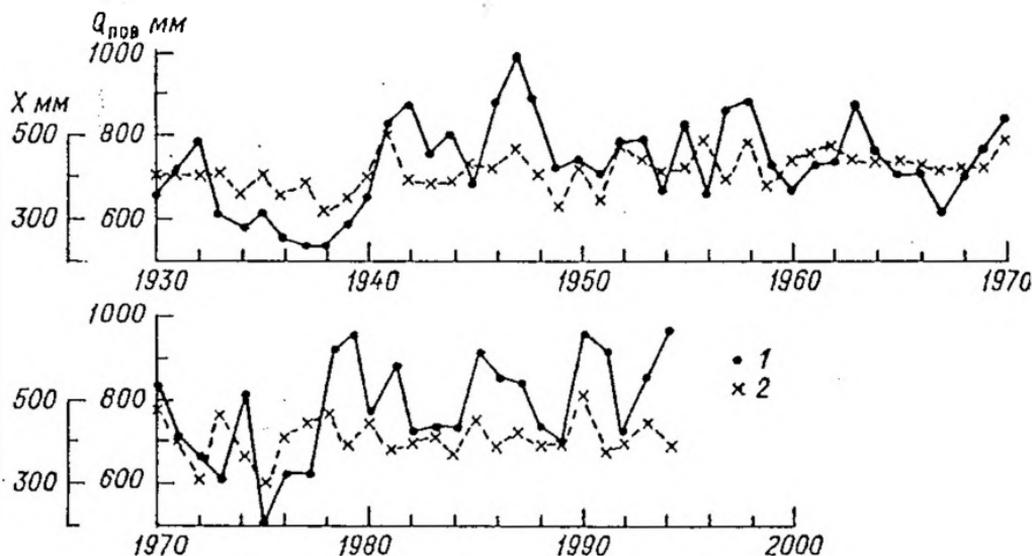


Рис. 1. Многолетний ход поверхностного притока в Каспийском море (1) и годовых сумм осадков на водосборах Волги и Урала (2).

лись в 1981—1983 гг. по сравнению с 1971—1980 гг., почти в 1,5 раза. Наиболее значительное увеличение было в бассейне Верхней Волги. При более удачном выборе начального периода, не включающего подъем уровня Каспия, модульные коэффициенты увеличились бы больше.

Таблица 4

Модульные коэффициенты минимального зимнего стока в бассейне р. Волги

Территория	Модульные коэффициенты			
	1971-80	1976-80	1976-83	1981-83
Верхняя Волга	1,20	1,25	1,41	1,78
Бассейн Камы	1,10	1,06	1,12	1,26
Территория в целом	1,15	1,18	1,32	1,60

Дополнительно к этим данным сравним подземное питание р. Оки (Калуга), рассчитанного в ГГИ, с осадками за теплый период на ее водосборе (рис. 2). Увеличение подземного питания в 1978—1984 гг. никак не согласуется с осадками. Более того, и до подъема уровня моря связь с осадками практически отсутствует (табл. 5). К бассейну Оки мы будем обращаться неоднократно, так как он является свособразной моделью подземного питания Каспийского моря.

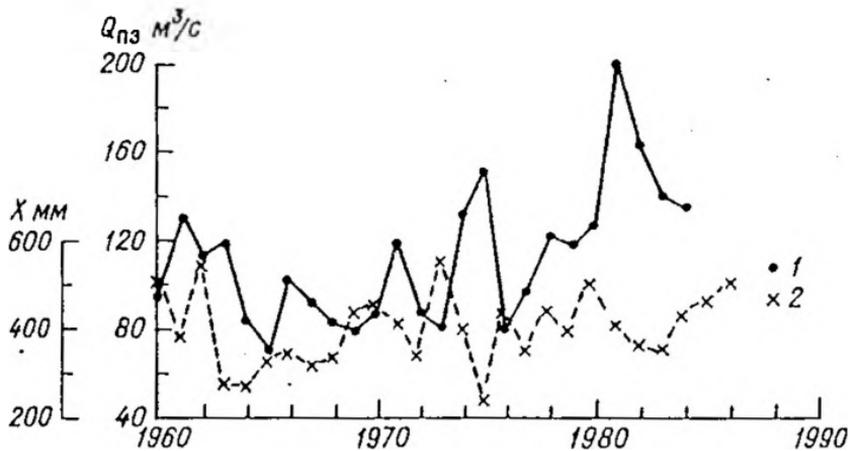


Рис. 2. Многолетний ход подземного питания р. Оки (1) и осадков (2) на ее водосборе за теплый период (апрель—октябрь).

Таким образом, климатические условия на водосборах рек не способствовали столь значительному увеличению поверхностного притока в Каспийское море в период подъема его уровня. Они обусловили увеличение стока, по сравнению с 1892—1977 гг. всего лишь на  $2,8 \text{ км}^3/\text{год}$ , что составляет 9 % от фактического прироста ( $31 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

Причиной увеличения поверхностного притока является интенсивное подземное питание рек, генезис которого будет рассмотрен ниже.

### *Испарение с акватории моря*

Величины испарения с акватория моря в 1944—1966 гг. взяты по расчетам Государственного Океанографического института

Подземное питание р. Оки (Калуга), м<sup>3</sup>/с, и суммы осадков  
за теплый период на ее водосборе, мм

Годы	Q <sub>пз</sub>	X									
1891	64	351	1916	100	534	1941	91	346	1966	103	352
1892	77	312	1917	98	499	1942	93	371	1967	92	328
1893	103	392	1918	98	407	1943	91	316	1968	83	344
1894	83	455	1919	109	406	1944	111	355	1969	82	435
1895	87	384	1920	100	272	1945	113	551	1970	91	435
1896	99	510	1921	76	289	1946	129	399	1971	120	418
1897	71	219	1922	73	462	1947	103	450	1972	87	340
1898	68	358	1923	75	439	1948	111	359	1973	81	555
1899	79	556	1924	74	303	1949	101	353	1974	133	575
1900	68	322	1925	113	537	1950	107	471	1975	149	238
1901	75	381	1926	122	479	1951	103	350	1976	82	430
1902	103	512	1927	100	606	1952	120	532	1977	98	355
1903	98	479	1928	131	519	1953	140	477	1978	122	426
1904	74	338	1929	100	338	1954	114	380	1979	126	403
1905	69	529	1930	87	437	1955	118	379	1980	126	500
1906	103	445	1931	81	377	1956	114	426	1981	202	414
1907	106	448	1932	81	459	1957	127	423	1982	163	358
1908	117	597	1933	81	778	1958	127	455	1983	135	336
1909	101	554	1934	100	413	1959	130	315	1984	134	430
1910	97	460	1935	100	453	1960	94	509			
1911	77	363	1936	101	390	1961	131	375			
1912	91	572	1937	86	350	1962	116	562			
1913	82	458	1938	94	286	1963	118	278			
1914	97	266	1939	75	312	1964	83	280			
1915	100	388	1940	86	396	1965	72	340			

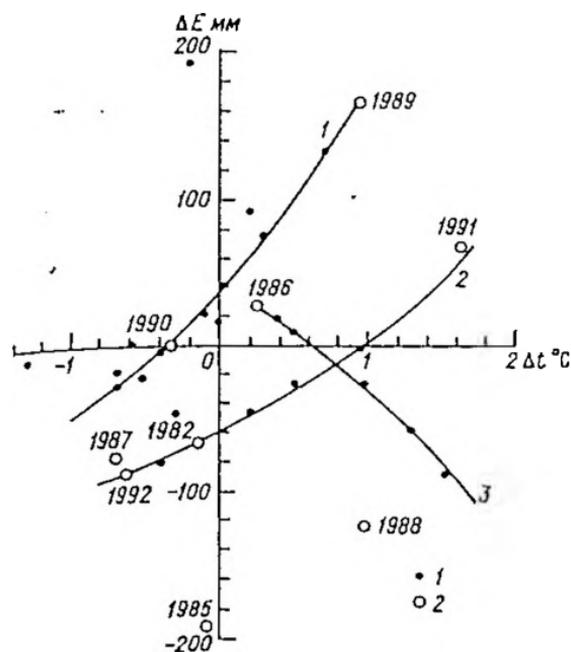


Рис. 3. Зависимость отклонений от нормы испарения с акватории Каспийского моря от отклонений от нормы температуры воздуха за теплый период (апрель— октябрь).  
1 — испарение в 1944—1966 гг. по данным [26],  
2 — испарение за последние годы по расчетам ГОИНа.

[26]. Эти расчеты являются наиболее объективными, т. к. проводились до начала подъема уровня моря.

На основании этих данных построена зависи-

мость отклонений испарения от нормы (976 мм) от отклонений от нормы температуры воздуха за теплый период на водосборах Волги и Урала (рис. 3). По этим зависимостям было рассчитано испарение в остальные годы.

Построение такой связи было обусловлено стремлением показать некоторым климатологам неправильность, мягко выражаясь, утверждений об уменьшении испарения с ростом температуры воздуха [9]. В связи с этим следует заметить, что аргументация сторонников климатических причин увеличения стока построена на абстрактных рассуждениях, зачастую противоречивых и не содержащих никаких конкретных данных о климатических показателях на водосборах рек. Так, например, Р. К. Клиге, утверждающий что на водосборе Волги увеличились осадки (?) и что испарение уменьшается с ростом температуры воздуха, тут же приводит формулу Будыко для расчета испарения, которая свидетельствует о прямой зависимости от температуры воздуха.

Неоднозначность зависимостей на рис. 3 обусловлена влиянием влажности над акваторией моря, индикаторами которой являются осадки над морем. В табл. 6 приведены их значения при

Значения  $\Delta t$  и осадков на различных участках кривых на рис. 3

№ кривой	$\Delta t$	$X - \bar{X}$
1	$> 0$	$< 0$
	$< 0$	$> 0$
2	$> 0$	$> 0$
	$< 0$	$< 0$
3	0, + 1	$0,5\bar{X}$
	$> 1$	$< 0$

различных осадках и температуре воздуха. Как видно из рис. 3, уменьшение испарения с ростом температуры воздуха происходит только при значительных осадках и при  $\Delta t > 1$ .

На рис. 3 нанесены величины испарения, рассчитанные в ГОИНе за последние годы. В 1985 и 1988 гг. они значительно занижены. Причиной этого является, по-видимому, занижение скорости ветра над водной поверхностью. Уменьшение скорости ветра над сушей, наблюдаемое в последние годы, не означает адекватного ее снижения над водной поверхностью. Параллельные наблюдения на береговых метеостанциях, расположенных вблизи уреза воды, и над водной поверхностью озер и водохранилищ показывают, что коэффициенты перехода от измерений на суше к водной поверхности при малых скоростях ветра увеличиваются почти в 2 раза по сравнению с коэффициентами при средних значениях скорости ветра.

В 1892—1977 гг. величина испарения была равна 972 мм, в 1978—1994 гг. — 980 мм. Увеличение слоя испарения на 8 мм сопровождалось уменьшением осадков на 7 мм, что вполне логично.

### *Осадки, отток воды в зал. Кара-Богаз-Гол, приращения уровней*

Сведения об этих составляющих водного баланса до 1984 г. взяты по данным [24], в 1984—1994 гг. — по расчетам ГОИНа.

### *Водный баланс Каспийского моря*

Годовые величины составляющих водного баланса приведены в Приложении I. Площади и объемы моря при различных уровнях, по данным [27], приведены в Приложении II.

Приращения уровней наиболее тесно связаны с притоком и осадками (табл. 7). Соответственно вклад притока в уравнение регрессии годовых приращений уровня с факторами составляет 88,5 % (табл. 8).

Таблица 7

Матрица парных коэффициентов корреляции между составляющими водного баланса Каспийского моря

	$Q_{\text{пов.}}$	X	E	$Q_{\text{кбг}}$	$\Delta H$
$Q_{\text{пов.}}$	1	0,06	-0,14	0,17	0,67
X		1	-0,26	0,20	0,30
E			1	-0,12	-0,22
$Q_{\text{кбг}}$				1	0,09
$\Delta H$					1

Таблица 8

Вклады составляющих водного баланса в уравнение (3), %

$Q_{\text{пов.}}$	X	E	$Q_{\text{кбг}}$	Сумма
88,5	9,3	0,1	2,1	100

Таблица 9

Статистические характеристики составляющих водного баланса

Параметры	$Q_{\text{пов.}}$	X	E
Среднее	794	239	973
$\sigma$	120	41	68
$C_V$	0,16	0,17	0,07
$C_s$	1,5	1,3	0
$\frac{C_V}{C_s}$			

В табл. 9 приведены статистические характеристики составляющих водного баланса.

Среднемноголетние составляющие водного баланса Каспийского моря приведены в табл. 10. Их анализ будет проведен ниже. Сейчас же рассмотрим невязки водного баланса и уравнения регрессии поверхностного стока с климатическими факторами,

Составляющие водного баланса Каспийского моря

Период, годы	Пов. приток		X	E	Q <sub>обг</sub>	ΔH/ΔV		Невязка
	клим.	фактич.				рассч.	фактич.	
1892—1977	$\frac{747}{291,4}$	$\frac{740}{288,7}$	$\frac{240}{93,6}$	$\frac{972}{379,2}$	$\frac{37}{14,4}$	$\frac{-29}{-11,3}$	$\frac{-40}{-15,6}$	$\frac{-11}{-4,3}$
1978—1994	$\frac{772}{294,2}$	$\frac{839}{319,8}$	$\frac{233}{88,8}$	$\frac{980}{373,7}$	$\frac{17}{6,9}$	$\frac{75}{28,0}$	$\frac{141}{53,5}$	$\frac{66}{25,5}$
Приращения	$\frac{25}{2,8}$	$\frac{99}{31,1}$	$\frac{-7}{-4,8}$	$\frac{8}{5,5}$	$\frac{-20}{-7,5}$	$\frac{104}{39,3}$	$\frac{181}{69,1}$	$\frac{77}{29,8}$

Числитель — мм/год. Знаменатель — км<sup>3</sup>/год.

которые в 1978—1994 гг. равны между собой, а их сумма составляет 95 % от подъема уровня моря.

## 1.1. Невязки водного баланса Каспийского моря и уравнения регрессии речного стока с климатическими факторами

Точность расчета водного баланса определяется формулой Г. А. Алексеева [28]:

$$\sigma = \sigma_{\Delta H} \sqrt{1 - R^2} = \pm 65 \text{ мм}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{\Delta H}$  — среднеквадратическое отклонение годовых приращений уровня моря,  $R$  — множественный коэффициент корреляции между составляющими водного баланса.

За пределы  $\sigma$  выходит 51 % невязок,  $2\sigma$  — 11 %, что свидетельствует об их неслучайном характере. В некоторые годы невязки водного баланса были выше годовых приращений уровня моря. В табл. 11 приведены годы, в которые суммы невязок водного баланса  $\delta_{в.б.}$  и уравнения регрессии речного стока с климатическими факторами  $\delta_p$  составляли не менее 70 % от приращений уровня моря.

На рис. 4 показан многолетний ход осредненных по скользящим трехлеткам  $\delta_{в.б.}$  и  $\delta_p$ . Как правило, они находятся в противофазе и совпадают по величине и знаку с некоторым сдвигом по времени  $\tau$  (рис. 5). Это означает, что невязка водного баланса в  $n$ -м году совпадает с невязкой уравнения регрессии в  $(n + \tau)$  году.

В [20] было впервые показано, что невязки водного баланса отражают приток подземных и отток поверхностных вод, обусловленных изменениями напряжений в земной коре, индикаторами которых являются сильные землетрясения в котловине моря.

Сведения о землетрясениях, взятые из их Каталогов, приведены в Приложении III. В процессе анализа для 7 землетрясений были внесены незначительные уточнения в магнитуды и глубины гипоцентров, не выходящие за пределы точности их определения.

Можно анализировать невязки по отдельности. Однако, в этом случае необходимо учитывать промежуток времени между равными невязками, который зависит от магнитуды землетрясений и

Сравнение приращений уровня Каспийского моря с суммой невязок водного баланса и уравнения регрессии поверхностного притока с климатическими факторами, мм

Годы	$\Delta H$	$\delta_{в.б.} + \delta_p$	%	Годы	$\Delta H$	$\delta_{в.б.} + \delta_p$	%	Годы	$\Delta H$	$\delta_{в.б.} + \delta_p$	%
1894	-70	-213	304	1924	-70	-51	73	1974	100	203	203
1895	300	228	76	1932	100	140	140	1976	-100	-74	74
1897	-120	-121	101	1938	-320	-238	74	1980	110	84	76
1898	-150	-162	108	1946	80	91	114	1981	240	220	92
1899	90	152	169	1947	150	144	96	1985	190	318	167
1903	70	53	76	1953	-20	-136	680	1986	70	150	214
1904	-130	-181	139	1954	-120	-102	85	1988	150	108	72
1905	70	177	253	1955	20	93	465	1989	-140	-102	73
1906	-40	-100	250	1956	-40	-101	252	1990	310	223	72
1907	-100	-148	148	1959	-30	-66	220	1991	300	223	74
1913	-50	-244	488	1960	-120	-87	73	1992	140	110	79
1918	-60	-54	90	1964	-30	-78	260	1994	190	175	92
1922	-30	-31	103	1968	-130	-149	115				
1923	-30	-59	197	1970	30	152	507				

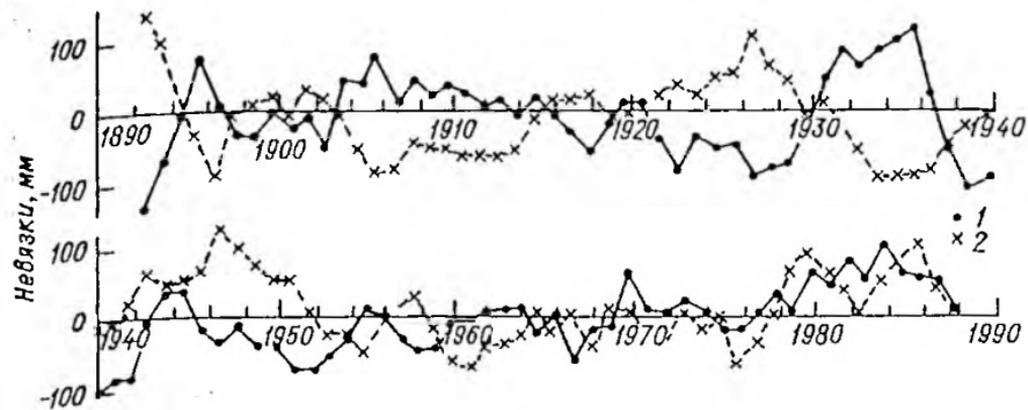


Рис. 4. Многолетний ход средних по скользящим трехлеткам невязок водного баланса Каспийского моря (1) и уравнения регрессии поверхностного притока с климатическими факторами (2).

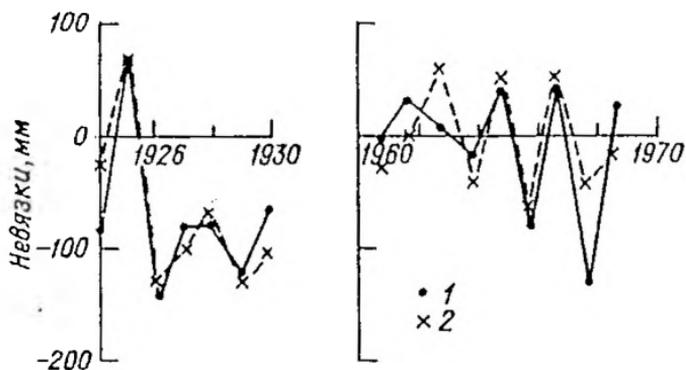


Рис. 5. Невязки водного баланса в  $n$ -м году (1) и уравнения регрессии поверхностного притока с климатическими факторами в  $(n+7)$  году (2).

характера тектонических образований, на которых расположены эпицентры (рис. 6). В какой-то мере зависимости на рис. 6 отражают влияние на  $\tau$  близости тектонических структур к водосбору Волги. Так, на Дузлакском и Избербашском блоках грабена осевой зоны, расположенного вдоль западного берега Северного Каспия, промежуток времени между равными невязками значительно меньше, чем на Североапшеронском блоке (Средний Каспий).

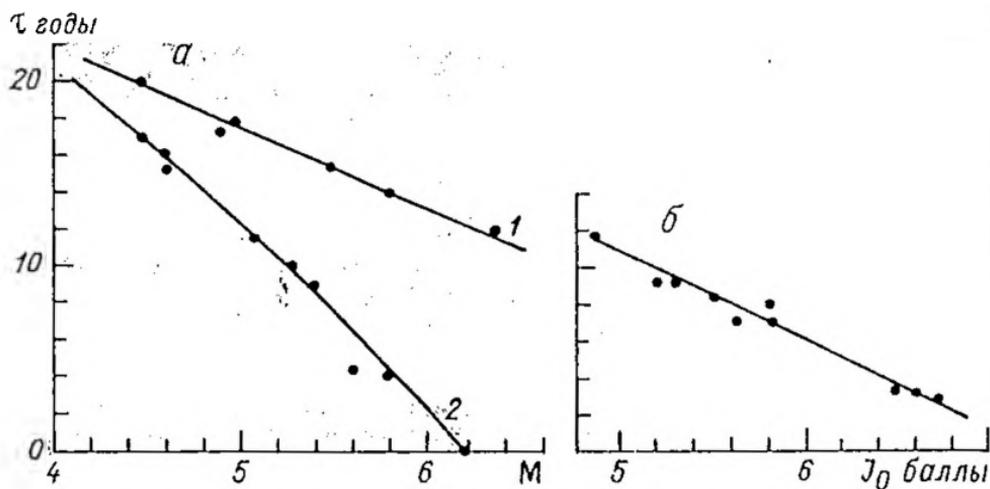


Рис. 6. Зависимость промежутка времени между равными невязками водного баланса Каспийского моря и уравнения регрессии поверхностного пригона с климатическими факторами от магнитуды землетрясений в Северном (а) и максимальной интенсивности землетрясений в Южном Каспии (б).

1 — Североаншеронский блок и горст Талгинского выступа,  
2 — Дузлакский и Избербашский блоки грабена осевой зоны.

Будем анализировать связь суммы невязок с параметрами землетрясений. Наиболее простым для анализа является период падения уровня моря, когда в редкие годы происходило по 2 землетрясения. Применительно к этому периоду, на рис. 7—9 приведены зависимости суммы невязок от магнитуды землетрясений при постоянной или находящейся в определенных интервалах глубине гипоцентра. Все зависимости имеют колебательный характер, свойственный многим природным процессам и отражающий в нашем анализе максимально возможный приток (отток) воды при заданных параметрах землетрясений.

Как видно из приведенных зависимостей, невозможно дать однозначный ответ, что происходит перед землетрясением — отток или приток подземных вод? В море, как правило, землетрясению предшествует приток подземных вод. Если же рассматривать бассейн Каспия в целом (море и впадающие в него реки), то все зависит от параметров готовящегося землетрясения. Так, например, в 1894 г., перед самым сильным Красноводским землетрясением 1895 г. (магнитуда  $M = 8,2$ , глубина гипоцентра  $h = 60$  км) из бассейна Каспия оттекло, в пересчете на площадь моря, 21 см

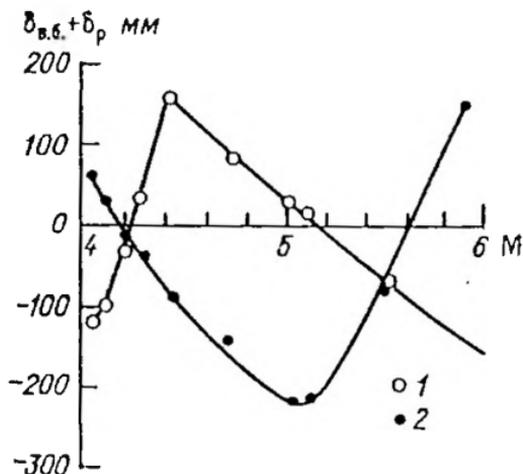


Рис. 7. Зависимость суммы невязок от магнитуды землетрясений при глубине гипоцентра 15 км. 1 — в предшествующем году, 2 — в год землетрясения.

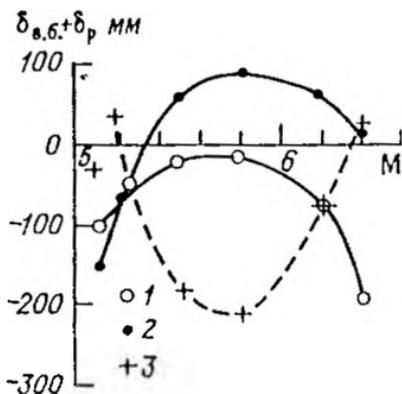


Рис. 8. Зависимость суммы невязок от магнитуды землетрясений при глубине гипоцентра  $60 > h > 40$  км. 1 — в предшествующем году, 2 — в год землетрясения, 3 — на следующий год после землетрясения.

воды ( $84 \text{ км}^3$ ), а после землетрясения разгрузилось практическое такое же количество (рис. 9). Пока, однако, нет никаких оснований считать, что после землетрясения разгрузилась та же вода, которая оттекла ранее.

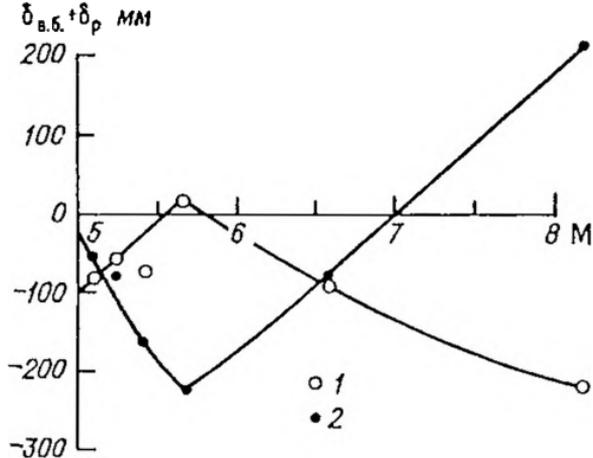


Рис. 9. Зависимость суммы невязок от магнитуды землетрясений при глубине гипоцентра  $h > 60$  км. 1 — в предшествующем году, 2 — в год землетрясения.

Иначе происходила подготовка землетрясения 1913 г. ( $M = 5,7$ ,  $h = 70$  км). В предшествующем году в бассейне Каспия разгрузилось небольшое количество воды, а в год землетрясения из моря и рек оттекло  $96 \text{ км}^3$  (24 см).

Перед и в год землетрясения 1961 г. ( $M = 6,4$ ,  $h = 64$  км) происходил одинаковый отток воды. В этой точке пересекаются две практически зеркальные зависимости (рис. 9).

Интерпретация зависимостей при других глубинах гипоцентра не представляет затруднений.

Совершенно очевидно, что между землетрясениями с одинаковыми глубинами гипоцентров могут происходить землетрясения и на других глубинах. Однако, средняя сумма невязок между землетрясениями с  $h = \text{const}$ , независимо от количества и параметров землетрясений между ними, коррелируется с магнитудой начального землетрясения. Начальным называется первое из двух рассматриваемых землетрясений. В качестве примера такой связи на рис. 10 приведена зависимость средней суммы невязок между землетрясениями с  $h = 40-60$  км от магнитуды начального. Такие зависимости свидетельствуют о существовании строгих закономерностей передачи напряжений внутри котловины моря и взаимосвязи параметров землетрясений.

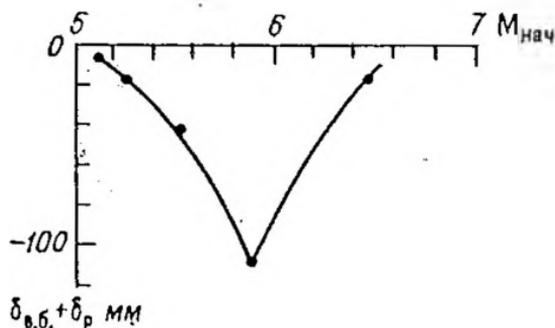


Рис. 10. Зависимость средней суммы невязок между землетрясениями с глубиной гипоцентра  $60 > h > 40$  км от магнитуды начального землетрясения.

Анализ невязок в период подъема уровня моря затруднен, вследствие значительного количества землетрясений в году. Рассмотрим только глубокие ( $h = 40-42$  км), которые происходили во все годы с положительными невязками. На рис. 11 показана зависимость от магнитуды суммы невязок с начала года до даты землетрясения, рассчитанная в предположении ее равномерного распределения внутри года. Максимальный приток подземных вод в бассейн Каспия, равный  $75 \text{ км}^3$  (25 см), был в 1985 г. при магнитуде землетрясения  $M = 5,2$ .

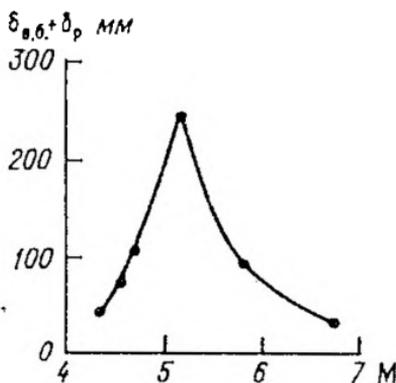


Рис. 11. Зависимость суммы невязок в период подъема уровня моря от магнитуды землетрясений с глубиной гипоцентра  $h = 40-42$  км.

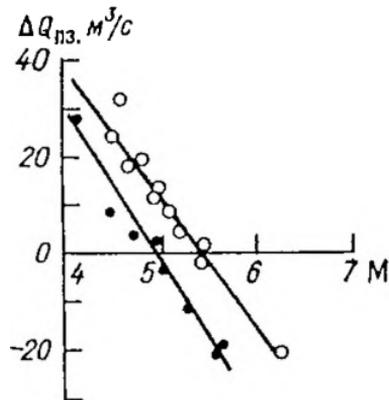


Рис. 12. Зависимость отклонений от нормы подземного питания р. Оки от магнитуды землетрясений в Каспийском море при глубине гипоцентра  $h = 15$  км (1) и  $h = 20-40$  км (период спада уровня моря).

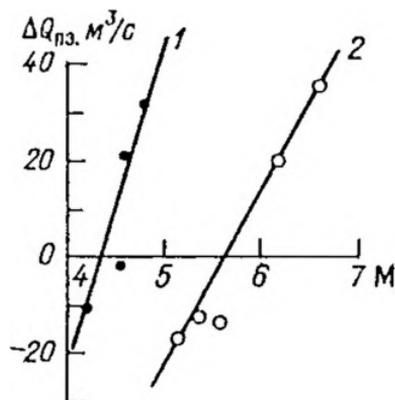


Рис. 13. Зависимость отклонений от нормы подземного питания р. Оки от магнитуды землетрясений в Каспийском море при глубинах гипоцентра  $5 < h < 15$  км (1) и  $h > 50$  км (период спада уровня моря).

Можно показать наличие тесных связей невязок с параметрами землетрясений на различных тектонических структурах (разломы, грабены, своды). Однако, приведенных зависимостей вполне достаточно для того, чтобы считать невязки тектоническими составляющими водного баланса моря ( $Q_{т.м.}$ ) и речного стока ( $Q_{т.р.}$ ). В дальнейшем будем оперировать этими понятиями.

Вернемся к рассмотрению подземного питания р. Оки (Калуга). Подземное питание не коррелируется ни с осадками теплого периода в предшествующем или текущем году, ни с температурой и связанного с ней дефицитом влажности воздуха. Отклонения подземного питания от нормы, рассчитанной за период 1892—1973 гг. (есть все основания полагать, что перестройка полей напряжений в котловине моря началась в 1974 г.) зависят от магнитуды землетрясений при  $h = \text{const}$  (рис. 12, 13). При землетрясениях с глубиной гипоцентра  $40 > h > 10$  км связь обратная, при неглубоких ( $h = 8-12$  км) и глубоких ( $h > 50$  км) землетрясениях связь прямая. Таким образом, подземное питание, источником которого являются, безусловно, осадки, регулируется напряжениями в земной коре. На карте внутреннего строения фундамента Восточно-Европейской платформы, составленной Р. Гафаровым, от котловины Каспия сначала под руслом Волги, а затем в сторону Рязано-Саратовской зоны простирается разлом в фундаменте, не захватывающий чехол. По-видимому, именно этот разлом является проводником напряжений, приводящих к разгрузке подземных или оттоку поверхностных речных вод.

С параметрами землетрясений связан и химический состав воды в Оке. На рис. 14 показана зависимость суммы ионов в

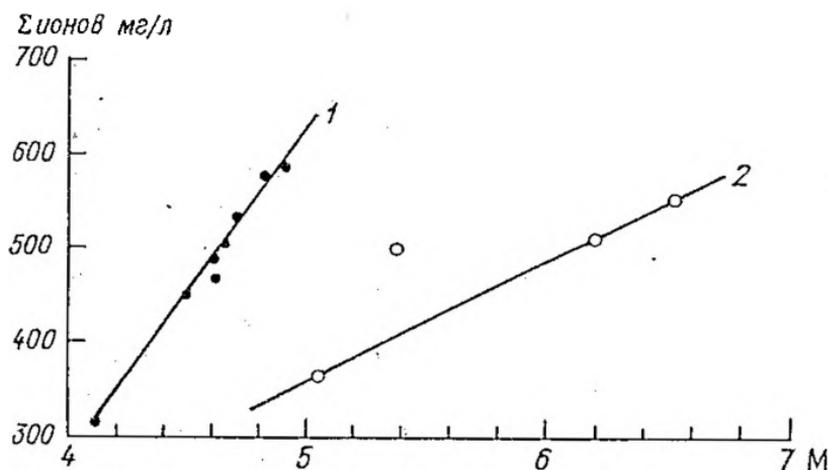


Рис. 14. Зависимость суммы ионов в р. Оке в ближайшую к дате землетрясений месть от магнитуды неглубоких (1) и глубоких (2) землетрясений в Каспийском море (период спада уровня моря).

ближайшую к дате землетрясения межень от магнитуды землетрясений с глубинами гипоцентра  $h = 15-30$  км и  $h > 50$  км. При неглубоких землетрясениях увеличение минерализации с ростом магнитуды обусловлено уменьшением величины подземного питания, при глубоких — разгрузкой более минерализованных подземных вод. Анализ подземного питания Оки в период подъема уровня моря будет проведен в части II.

Во всех реках бассейна Каспийского моря существует связь подземного питания с параметрами землетрясений. Более того, расходы воды в январе в створе Волгограда, в период наполнения водохранилищ, также коррелируются с ними. Однако, только в Оке (Калуга) можно четко установить влияние глубины гипоцентра, поэтому подземное питание Оки отражает, в значительной степени, закономерности подземного питания моря.

Учитывая тесную связь оттока (притока) с параметрами землетрясений, рассмотрим их некоторые закономерности.

## Глава 2. НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КОТЛОВИНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

На рис. 15 показано расположение эпицентров сильных землетрясений с энергетическим классом  $K > 10$  в котловине Каспийского моря. Как правило, эпицентры находятся на пересечении разломов с кольцевыми структурами, впервые выделенными автором в [29].

Центр кольцевых структур ( $\varphi = 40,4^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 51,7^\circ$  в. д.) расположен вблизи точки пересечения Терско-Каспийского, Средне-Каспийского и внутриглыбового разломов.

Прослеживаются две системы кольцевых структур. Радиусы первой (сплошные линии на рис. 15) с номерами  $N_i$  ( $i = 1 \dots 6$ ) увеличиваются от центра по показательному закону:

$$R_i = R_1 N_i^{1,7} \quad (6)$$

где  $R_1 = 8,45$  км — радиус первой кольцевой структуры.

При  $N > 6$  радиус каждой последующей кольцевой структуры увеличивается на 50 км.

Радиусы второй кольцевой системы (пунктирные линии на рис. 15) увеличиваются от центра по экспоненциальному закону:

$$R_i = 117 \exp(0,31 N_i). \quad (7)$$

В 1882—1980 гг. в котловине моря произошло 61 сильное землетрясение (в среднем 2 землетрясения в 3 года). В 1981—1989 гг. зафиксировано в среднем 8 сильных землетрясений в год.

До 1981 г. большинство эпицентров располагалось на расстоянии 225—250 км от центра кольцевых структур, то приближаясь, то удаляясь от него. В 1981—1989 гг. эпицентры сосредоточились преимущественно вокруг центра и в Южном Каспии.

На рис. 16 показано распределение магнитуд землетрясений по годам. В 1981—1989 гг. взяты магнитуды глубоких ( $h = 40—42$  км) землетрясений.

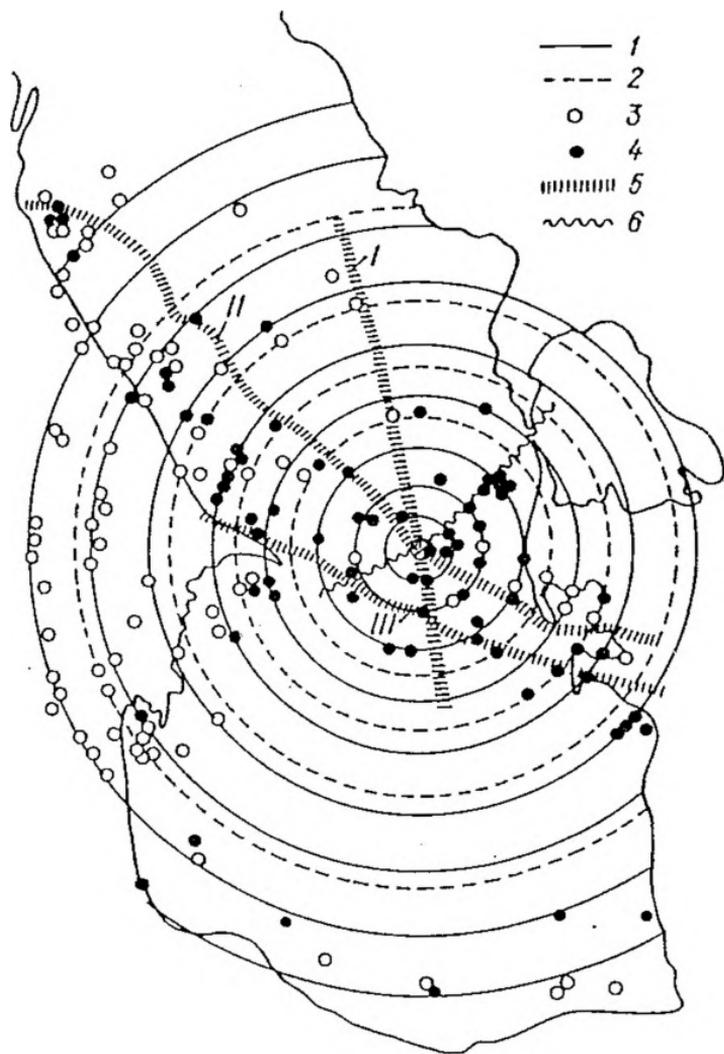


Рис. 15. Расположение кольцевых структур, эпицентров сильных землетрясений и основных разломов в котловине Каспийского моря. 1, 2 — первая и вторая кольцевые структуры, 3, 4 — эпицентры землетрясений до и после 1978 г., 5 — глубинные разломы: I — Среднекаспийский, II — Терско-Каспийский, III — Апшерон-Челекенский, 6 — внутриглыбовый разлом.

С 1895 г., когда произошло самое сильное Красноводское землетрясение ( $M = 8,2$ ,  $h = 60$  км), началось снижение магнитуд. Огибающая их колебаний позволяет выделить 25-летние циклы с

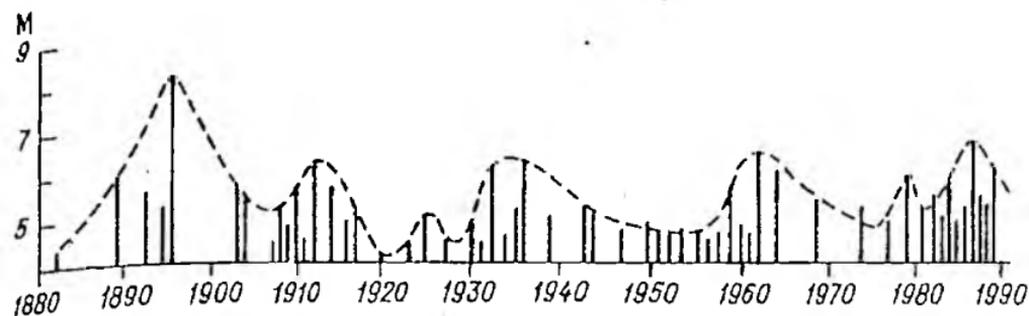


Рис. 16. Распределение магнитуд землетрясений в котловине Каспийского моря по годам.

крутым подъемом и пологим спадом. Рост магнитуд продолжался в среднем 8 лет, снижение — 15—20 лет.

В предшествующих исследованиях автора промежутки времени между землетрясениями определялся в зависимости от глубины залегания кристаллического фундамента в гипоцентре землетрясений, расположенных на одной и той же кольцевой структуре и на конкретном тектоническом образовании (разлом, грабен, свод и др.) [29]. Эти зависимости были получены только для Северного и Среднего Каспия, для которых В. Н. Голубовым построена карта глубин фундамента [30].

В результате уточнения радиусов кольцевых структур, представилось возможным получить более простые зависимости для каждой кольцевой структуры до и после подъема уровня моря.

Кроме промежутка времени  $T$  между землетрясениями, рассчитаны скорости  $V$  перемещения гипоцентров по кольцевой структуре. Расстояние между гипоцентрами определяется формулой:

$$L = \sqrt{L_0^2 + (\Delta h)^2} \quad (8)$$

где  $L_0$  — расстояние между эпицентрами на кольцевой структуре,  $\Delta h$  — разность глубин гипоцентров двух последовательных землетрясений.

Ввиду того, что  $L_0 \gg \Delta h$ , разностью глубин гипоцентров можно пренебречь.

Минимальное расстояние между эпицентрами соответствует их перемещению по часовой стрелке. Исключением являются те случаи, когда гипоцентр расположен на границе Мохо (35—45 км),

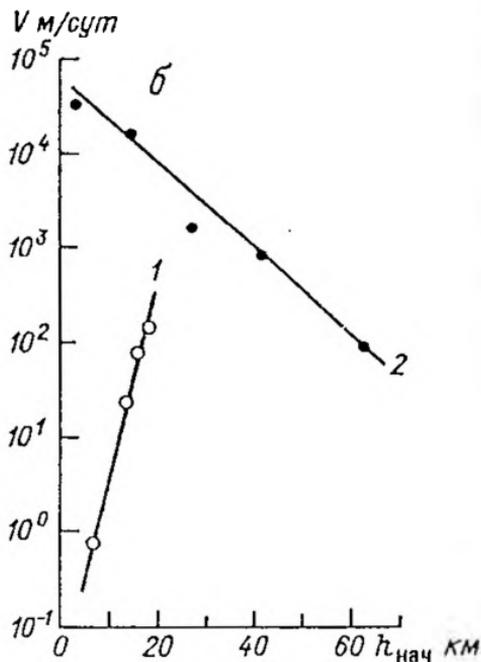
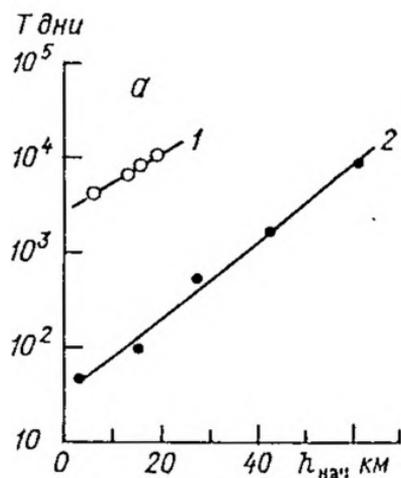


Рис. 17. Связь промежутка времени между землетрясениями (а) и скорости перемещения гипоцентров (б) с глубиной гипоцентра начального землетрясения (кольцевая структура на расстоянии  $L = 155$  км от центра). 1, 2 — до и после подъема уровня моря.

по которой он перемещается против часовой стрелки, иначе скорость его перемещения противоречит полученным зависимостям. Ниже границы Мохо — перемещение по часовой стрелке.

В процессе анализа рассмотрены только те кольцевые структуры, которые расположены в пределах котловины моря.

Промежуток времени между землетрясениями и скорость перемещения гипоцентра зависят от глубины начального землетрясения. В качестве примера на рис. 17—18 приведены зависимости для некоторых кольцевых структур в период спада и подъема уровня моря.

Во время подъема уровня моря, на более удаленных от центра кольцевых структурах скорость уменьшается с увеличением глубины гипоцентра, а вблизи центра — увеличивается, слегка снижаясь около границы Мохо.

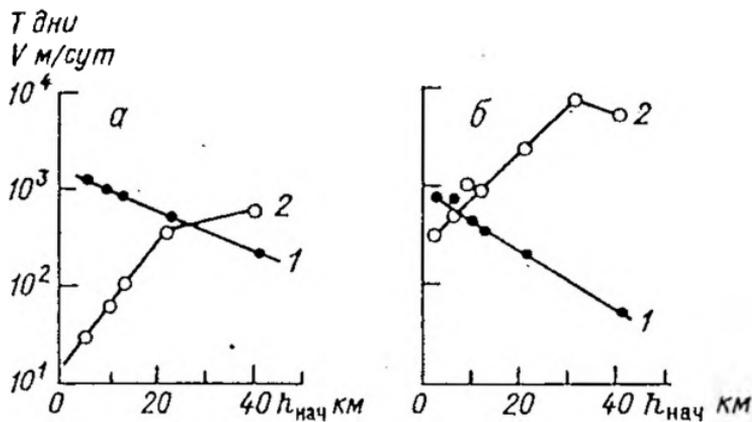


Рис. 18. Связь промежутка времени между землетрясениями (1) и скорости перемещения гипоцентров (2) с глубиной гипоцентра начального землетрясения. а — кольцевая структура на расстоянии  $L = 27$  км от центра, б — кольцевая структура на расстоянии  $L = 89$  км от центра (период современного подъема уровня моря).

Обобщенные сведения о промежутке времени между землетрясениями и скорости перемещения гипоцентров приведены в табл. 12—13.

Как видно из этих таблиц, во время подъема уровня моря сократился промежуток времени между землетрясениями и увеличились скорости. На рис. 19 показаны зависимости

$K_V = \frac{V_{п}}{V_c} = f(h_{нач})$  и  $K_T = \frac{T_c}{T_{п}} = \varphi(h_{нач})$ , где индексы "п" и "с" означают подъем и спад уровня.

Самое значительное уменьшение промежутка времени между землетрясениями и соответственно увеличение скорости перемещения гипоцентров (при  $h < 30$  км) произошло на расстоянии 155 км от центра кольцевых структур. При  $h = 5$  км время сократилось почти в 100 раз, а скорости увеличились в 80 000 раз.

Причиной столь резкого изменения  $T$  и  $V$  является, по-видимому, то, что эта кольцевая структура расположена в Среднем Каспии, где в наибольшей степени проявляется сжатие котловины моря.

На рис. 20 приведены зависимости суммы тектонических составляющих между землетрясениями от глубины гипоцентра начального в период спада уровня моря (расстояние от центра

Промежуток времени между землетрясениями (дни) на различных расстояниях от центра кольцевых структур

Расстояние до центра, км	Глубина гипоцентра начального землетрясения, км						
	5	10	15	20	30	40	50
55	$\frac{10000}{436}$	$\frac{5623}{186}$	$\frac{14223}{457}$	$\frac{(1778)}{363}$			
130	$\frac{5248}{2512}$	$\frac{6025}{1277}$	$\frac{6765}{204}$	$\frac{7943}{438}$	$\frac{11309}{631}$	$\frac{13183}{(1000)}$	$\frac{17783}{(1584)}$
155	$\frac{3981}{47}$	$\frac{4988}{72}$	$\frac{5763}{110}$	$\frac{7244}{174}$	$\frac{(10715)}{398}$		
225	$\frac{2512}{316}$	$\frac{1585}{135}$	$\frac{955}{56}$	$\frac{631}{23}$			

Примечание: в числителе — до подъема уровня, в знаменателе — подъем уровня моря.

Таблица 13

Скорости перемещения гипоцентров землетрясений (м/сут) на различных расстояниях от центра кольцевых структур

Расстояние до центра, км	Глубина гипоцентра начального землетрясения, км					
	5	10	15	20	30	40
55	$\frac{25}{4}$	$\frac{63}{13}$	$\frac{251}{56}$	$\frac{630}{(158)}$		
130	$\frac{1000}{70}$	$\frac{630}{91}$	$\frac{380}{55}$	$\frac{224}{25}$	$\frac{85}{8}$	$\frac{(35)}{2}$
155	$\frac{31623}{0,4}$	$\frac{17783}{2,5}$	$\frac{11200}{16}$	$\frac{6761}{126}$	$\frac{2291}{(6761)}$	
225	$\frac{25}{63}$	$\frac{63}{112}$	$\frac{251}{178}$	$\frac{631}{251}$		

Примечание: в числителе — в период подъема уровня, в знаменателе — до подъема уровня моря.

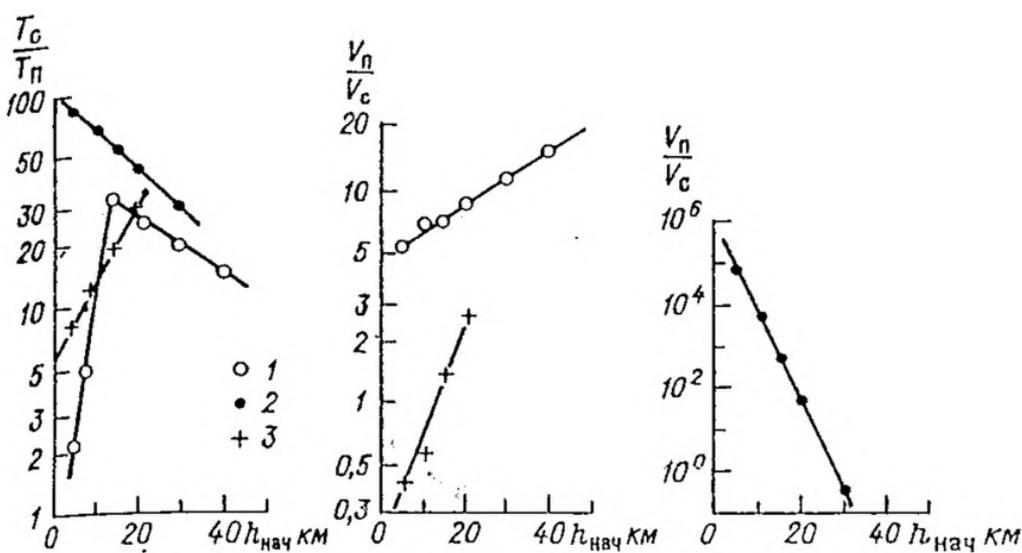


Рис. 19. Связь отношений промежутков времени между землетрясениями во время спада и подъема уровня моря и скоростей перемещения гипоцентров во время подъема и спада уровня с глубиной гипоцентра начального землетрясения. 1 — расстояние от центра кольцевых структур  $L = 130$  км, 2 —  $L = 155$  км, 3 —  $L = 225$  км.

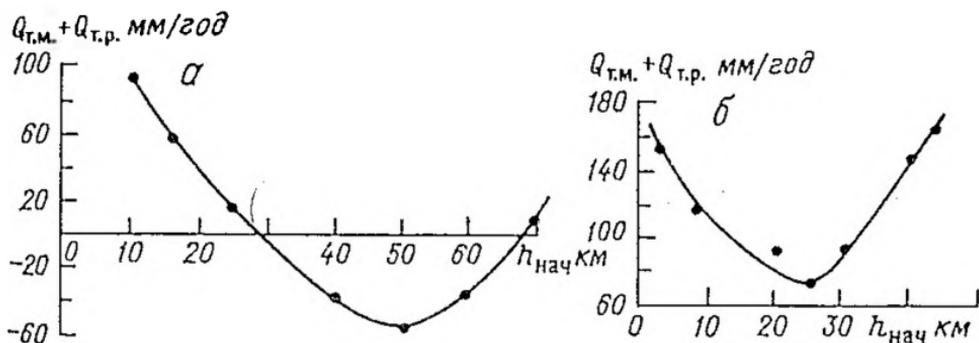


Рис. 20. Зависимость средней суммы тектонических составляющих между датами землетрясений от глубины начального землетрясения. а — расстояние от центра кольцевых структур  $L = 225$  км (спад уровня моря), б —  $L = 55$  км (подъем уровня моря).

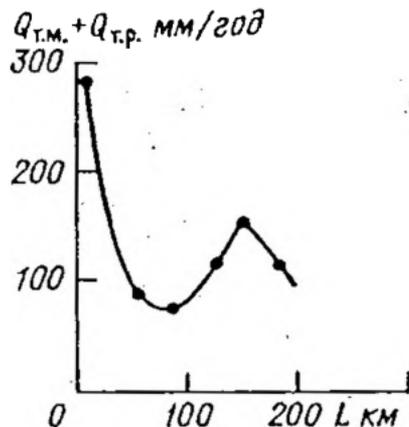


Рис. 21. Зависимость средней суммы тектонических составляющих между датами землетрясений от расстояния до центра кольцевых структур ( $h = 40$  км, подъем уровня моря).

кольцевых структур 225 км) и современного подъема (расстояние от центра 55 км). Максимальное количество воды разгружается в море и реки при  $h < 10$  км и  $h > 60$  км.

На рис. 21 приведена обобщенная по различным кольцевым структурам зависимость притока подземных вод в море и реки от расстояния до центра в период подъема уровня при  $h = 40$  км. Максимальное количество подземных вод разгружается на расстоянии 155 км от центра и вблизи него, что полностью согласуется с режимом уровней воды на акватории Каспийского моря.

### Глава 3. ОСОБЕННОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Данными по уровням воды автор располагает только до 1988 г. В 1978—1988 гг. измерения производились на 17—25 водпостах, расположение которых показано на рис. 22.

Самые высокие уровни наблюдаются в придельтовом участке моря на водпостах Карайский Маяк, Двенадцатая Огневка и Искусственный, находящихся в области влияния стока Волги (табл. 14). Однако стоковое течение Волги быстро затухает и оказывает влияние на уровни воды на расстоянии не более 400 км от Карайского Маяка. На рис. 23 показаны уровни воды вдоль северо-западного побережья на различных расстояниях от Карайского Маяка. Кривая 1 относится к средним уровням в 1978—1984 гг. (в 1985 г. прекращены наблюдения на Двенадцатой Огневке), кривая 2 — к уровням в наиболее многоводном 1979 г. Как видно из рисунка, на о. Тюлений уже не проявляется влияние стока Волги. Уровни на этом острове до 1983 г. были близки к средним по акватории (без учета водпостов Карайский Маяк, Двенадцатая Огневка и Искусственный). Быстрое затухание стокового течения Волги является следствием интенсивного перемешивания, обусловленного почти одинаковой плотностью волжской и прилегающей к дельте воды.

На всех водпостах, кроме Карайского Маяка и Двенадцатой Огневки, с 1978 г. началось повышение уровней, а на Карайском Маяке и Двенадцатой Огневке — устойчивое понижение. Рассмотрим причины аномального хода уровней на этих водпостах.

В табл. 15 приведено сравнение приращений уровней на Карайском Маяке в каждом году относительно 1978 г. с приращениями составляющих водного баланса (поверхностный приток, осадки, испарение и отток в Кара-Богаз-Гол). Они практически совпадают. Только в 1983 г. понижение уровня на Карайском Маяке было меньше, чем уменьшение составляющих водного баланса. Это можно объяснить значительной разгрузкой подземных вод в море, самой большой в 1978—1994 гг. (19 см или 73 км<sup>3</sup>) которая повлияла и на уровни в придельтовом участке. С учетом этой разгрузки приращения выравниваются.



Рис. 22. Схема расположения гидрометеостанций и гидропостов на акватории Каспийского моря.

Среднегодовые уровни воды на акватория Каспийского моря,  
см над отметкой -28 м БС

Пункт	Год										
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Карайский Маяк	131	130	106	108	97	101	90	113		96	
Двенадцатая Огневка	109	112	97	94	84	93	66				
о. Искусственный	70	71	67	74	70	67	65	89		90	93
Каспийский	-55	-33	-28	-3	-5	-4	5	14	26	34	48
о. Тюлений	-88	-48	-49	-20	-17	-17	-9	-7	5	4	28
Махачкала	-94	-51	-37	-12	-6	-2	3	12	24	35	53
Сумгаит	-109	-63	-41	-19		9	0	21	28	39	48
Алшеронская							9	20	20	30	49
о. Жилой			-36	-13	-4	3	6	15	32	43	46
о. Нефтяные Камни	-99	-55	-39			2	5	16	26	35	54
Баку	-86	-56	-42	-14	-5	1	5	11	19	29	48
о. Свиной	-86	-54	-42	-18	-8	-4	-3	8	17	27	46
Кулгук	-78	-54	-40							52	
Ленкорань	-82	-49	-41	-20	-11	-2	1	10		26	46
о. Огурчинский	-100	-71	-60	-35	-23	-18	-16	-4	0	8	31
Аладжа	-94	-65	-56	-25	-19						
Челекен	-85	-54	-35		-29			-6		7	23
Красноводск	-107	-76	-61	-37	-29	-24	-22	-12	-4	7	28
Куули-Маяк	-97	-58		-32	-22	-15	-19	-6	5	3	13
Кара-Богаз-Гол	-107	-78	-54	-29	-22	-16	-16	-4	5	8	27
Бекдаш	-103	-75	-60	-33	-25	-22	-18	-3	1	9	28
г. Шевченко	-92	-63	-34	-32	-22	-24	-15	-5	7	16	32
Форт Шевченко	-89	-61	-49	-22	-13	-4	-2	4	11	25	42
о. Кудалы	-99	-72	-56	-31	-22	-18	-19	-6	5	3	13
Пешной	-71	-52	-36	-11	-2	12	5	18	16	23	10

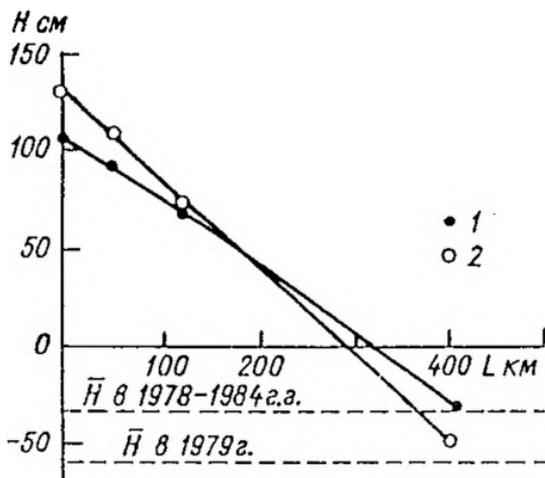


Рис. 23. Уровни воды над отм. -28 м БС на различных расстояниях от Карайского Маяка. 1 — 1978—1984 гг., 2 — 1979 г.

Таким образом, уровни воды в придельтовом участке моря отражают влияние водного баланса без его тектонической составляющей.

Таблица 15

Приращения уровня моря на Карайском Маяке и суммы составляющих водного баланса относительно 1978 г., см

Годы	Приращения	
	уровня	сост. водн. бал.
1979	-1	-1
1980	-25	-25
1981	-23	-14
1982	-34	-27
1983	-30	-50
1984	-41	-25
1985	-18	-25
1986		-31
1987	-35	-21

В табл 16 приведены сведения об изменении уровней в 1978—1987 гг. на различных участках, а на рис. 24 — зависимость приращений от расстояния середины участка до Карайского Маяка. Расстояния измерялись по меридиану в центре моря.

Изменение уровня воды в 1978—1987 гг. на различных участках моря, см

№ участка	Расстояние от Карайского Маяка, км	Водпосты	$\Delta H$
0	0	Карайский Маяк	-35
1	106	Карайский Маяк, Двенадцатая Огневка, о. Искусственный, Каспийский, о. Тюлений, Пешной, о. Кулалы, Форт Шевченко	68
2	292	о. Тюлений, Форт Шевченко, Махачкала, г. Шевченко	111
3	570	Махачкала, Сумгаит, Бекдаш, Кара-Богаз-Гол	126
4	780	Сумгаит, Апшеронская, Баку, о. Жилой, о. Нефтяные Камни, Кара-Богаз-Гол, Куули-Маяк, Красноводск, о. Свиной	124
5	826	о. Свиной, Ленкорань, Челекен, Аладжа, о. Огурчинский	105

Как видно из рис. 24, приращения уровней плавно нарастают к центру моря, где они равны 126 см. Минимальное повышение (68 см) было на участке, прилегающем к дельте Волги. В табл. 17 приведены среднегодовые уровни на этом участке, на акватории моря, а также приращения уровней, рассчитанные по водному балансу без его тектонической составляющей и пересчитанные на

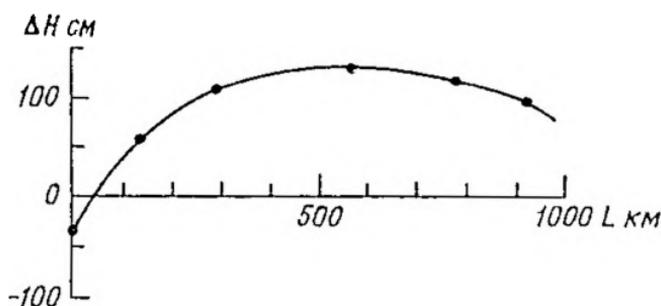


Рис. 24. Приращения уровней воды в 1978—1987 гг. на различных участках моря.

Сравнение разности между уровнями воды на придельтовом участке и средними по акватории моря (см над отм. -28 м БС) с приращениями уровня, рассчитанными по водному балансу, см

Годы	$H$	$\bar{H}$	$H - \bar{H}$	$\Delta H$ по водн. бал.
1978	-11	-91	80	72
1979	6	-61	67	67
1980	6	-45	51	10
1981	24	-25	49	40
1982	24	-17	51	7
1983	29	-9	38	-50
1984	19	-6	25	25
1985	32	5	27	25
1986		14		-3
1987	(39)	23	16	20
1988	(39)	38	1	7

площадь придельтового участка, составляющую около 1/4 от площади моря. Разность между уровнями на придельтовом участке и средними по акватории во все годы, кроме 1980, 1982 и 1983 гг., практически совпадают с приращениями, рассчитанными по водному балансу. Это свидетельствует о том, что придельтовый участок не испытывает влияния разгрузки подземных вод в море, которая осуществляется в области центра кольцевых структур.

Для более точных расчетов следовало бы учитывать только сток Волги и Урала, осадки и испарение в северной части моря, но на величины приращений использованный упрощенный прием не оказывает существенного влияния.

Чем обусловлены высокие уровни на западном побережье и в Среднем Каспии? Если в Махачкале влияние на них оказывает сток Терека и Сулака, то в Сумгаите, расположенном на бессточном участке моря такое влияние исключено. Высокие уровни на островах Жилой, Нефтяные Камни, Свиной также не вписываются в обычные представления об их формировании. Неправомерно объяснять их и влиянием нагонов. В Северном Каспии повторяемость ветров юго-западного и северо-восточного направлений практически одинаковая, что исключает влияние нагонов на среднегодовые уровни. К тому же, ветровой режим оказывает влияние на уровни, но не на их приращения. Следует также отметить, что при достаточно стабильной ветровой ситуации в 1984 г., во время

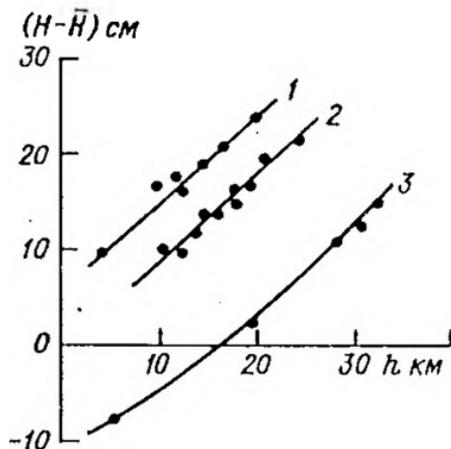


Рис. 25. Связь отклонений среднемесячных уровней воды в Сумгаите от средних по акватории моря с глубиной гипоцентров землетрясений. 1 — эпицентры расположены на пересечении Апшерон-Челекенского разлома с внутриглыбовыми разломами и береговой линией, 2 — эпицентры вне разломов, 3 — эпицентры на Терско-Каспийском и Апшерон-Челекенском разломах.

оттока воды из моря, среднегодовой уровень воды в Сумгаите был самым низким на западном побережье, а в 1978 г., когда из моря оттекло  $35 \text{ км}^3$  воды, самым низким по всей акватории моря. На анализе таких аномалий остановимся позднее.

Покажем, на примере Сумгаита, что разность между среднемесячными уровнями на этом водпосту и средними по акватории связана с параметрами землетрясений (рис. 25). Верхняя кривая на этом рисунке соответствует землетрясениям на пересечении Апшерон-Челекенского разлома с внутриглыбовыми разломами и с береговой линией, средняя — к землетрясениям вне разломов и нижняя — к землетрясениям на Терско-Каспийском и Апшерон-Челекенском разломах. Таким образом, максимальная разгрузка подземных вод приурочена к наиболее ослабленным участкам земной коры, соответствующих пересечению разломов между собой.

Точка пересечения с осью ординат кривой зависимости уровня воды на островных станциях от расстояния до центра кольцевых структур соответствует уровню в центре ( $H_0$ ). Уровень в центре кольцевых структур зависит только от разгрузки подземных

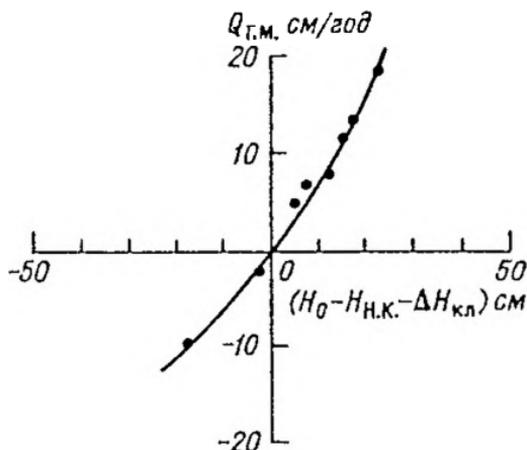


Рис. 26. Связь разности уровней в центре кольцевых структур и на о-ве Нефтяные Камни (без климатического изменения) с тектонической составляющей водного баланса Каспийского моря.

вод. Об этом свидетельствует зависимость разности  $(H_0 - H_{н.к.} - \Delta H_{клим.})$  от тектонической составляющей водного баланса моря  $(H_{н.к.} - \text{уровень воды на острове Нефтяные Камни, } \Delta H_{клим.} - \text{климатическое изменение уровня})$  (рис. 26).

Вблизи центра кольцевых структур 3 марта 1986 г. произошло второе по силе, после Краснодарского, землетрясение с магнитудой  $M = 6,8$  и глубиной гипоцентра  $h = 40$  (Каспийское). Практически в этом же месте 16 сентября 1989 г. произошло еще одно сильное землетрясение ( $M = 6,3$  и  $h = 49$  км).

Перед Каспийским землетрясением, в феврале 1986 г., на акватории моря была проведена плановая гидрохимическая съемка Гидрометслужбой Аз. ССР, позволившая обнаружить интересные явления. На станциях, расположенных над Терско-Каспийским разломом и вблизи эпицентра землетрясения в придонном слое наблюдались аномально высокие концентрации кремния и температуры воды. Максимальная концентрация кремния (950 мг/л) была в 270 км от эпицентра, на пересечении Терско-Каспийского разлома с внутриглыбовым. Далее на расстоянии 90 км от эпицентра концентрация кремния уменьшилась до 110 мг/л, а потом снова стала увеличиваться и на расстоянии 40 км от эпицентра стала равной 970 мг/л (рис. 27).

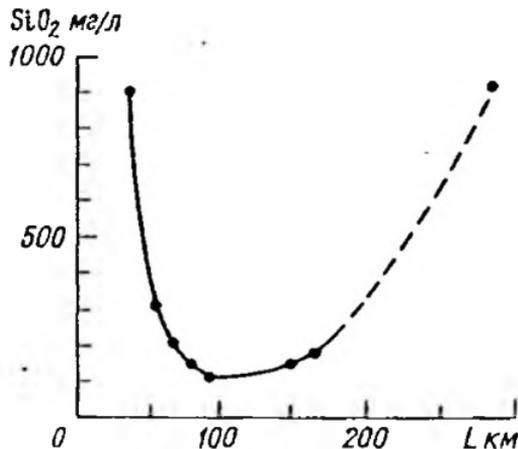


Рис. 27. Зависимость придонной концентрации кремниевой кислоты от расстояния до эпицентра землетрясения 6 марта 1986 г.

Придонная температура воды на участке 380—40 км от эпицентра увеличилась с 3 до 7,3 °С. На станциях, расположенных в 10—20 км от эпицентра все измерения были забракованы, вследствие, вероятно, неправдоподобно больших величин температуры воды и концентрации кремния.

На рис. 28 показаны логарифмические зависимости придонной температуры воды и концентрации кремния от расстояния до эпицентра землетрясения. Их аналитические аппроксимации имеют вид:

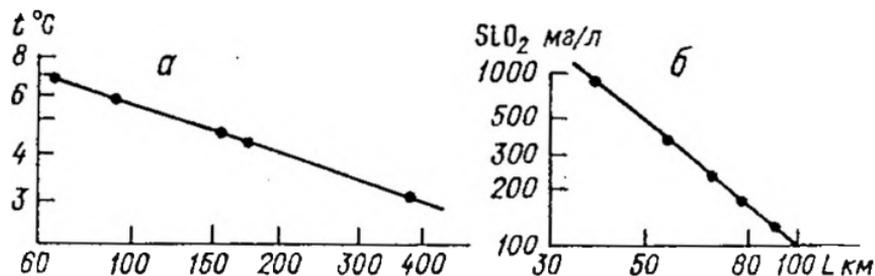


Рис. 28. Зависимости придонной температуры воды (а) и концентрации кремниевой кислоты (б) от расстояния до эпицентра землетрясения 6 марта 1986 г.

$$\lg t = \frac{2,92}{L^{0,292}}, \quad (9)$$

$$\lg \text{SiO}_2 = \frac{13,18}{L^{0,41}} \quad (10)$$

где  $L$  — расстояние до эпицентра.

Любопытно, что показатель степени в формуле (9) в 10 раз меньше свободного члена.

На расстоянии 5 км от эпицентра придонная температура воды, согласно формуле (9), должна быть  $67^\circ\text{C}$ , на расстоянии 2 км —  $243^\circ$  и 1,5 км —  $393^\circ$ , что согласуется с геотермальным градиентом в области Апшерон-Челекенского разлома —  $1,2^\circ/100$  м [31]. Исходя из такого градиента, на глубине гипоцентра (40 км) температура воды должна быть  $480^\circ$ . Таким образом, Каспийскому землетрясению предшествовала разгрузка высокоминерализованных термальных вод.

Можно привести много примеров активной реакции водной среды на подготовку землетрясения. Как правило, за 2—3 дня до него на островных станциях увеличивается соленость на 1—2 ‰ и повышается температура воды на  $1\text{--}2^\circ$ , что особенно заметно зимой. Однако, анализ этих безусловно интересных процессов выходит за пределы рассматриваемой проблемы, поэтому ограничимся приведенными примерами.

Как указывалось выше, в годы с оттоком воды из моря уровни понижаются к его центру. Так было в 1978 г., когда из моря оттекло

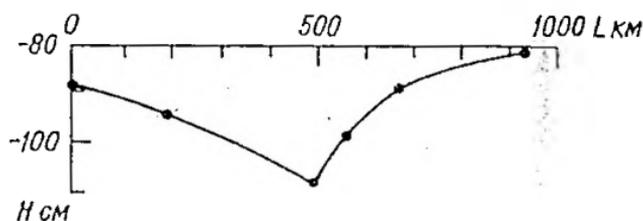


Рис. 29. Среднегодовые уровни воды в 1978 г. на западном побережье Каспийского моря от о-ва Тюлений до Ленкорани.

35 км<sup>3</sup> воды. Самый низкий уровень воды в этом году был в Сумганте (рис. 29). Создается впечатление, что в центре моря образовалась гигантская воронка, в которую всасывалась вода.

Таким образом, в Среднем Каспии, в области центра кольцевых структур, при ослаблении напряжений происходит отток воды, при сжатии, когда отток прекращается, — интенсивная разгрузка подземных вод. К такому же выводу мы придем, анализируя источник поступления подземных вод в море.

## Глава 4. ВКЛАДЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО И ТЕКТОНИЧЕСКОГО ФАКТОРОВ В КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Рассмотрим влияние климата, оттока воды в залив Кара-Богаз-Гол и тектонических составляющих водного баланса и речного стока на уровень Каспийского моря в периоды его падения и подъема.

Климатическое изменение уровня моря равно:

$$\Delta H_{\text{клим.}} = Q_{\text{клим.}} + X - E, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{клим.}}$  — приток поверхностных вод, рассчитанный по уравнению (3).

Падение уровня моря, обусловленное оттоком воды в Кара-Богаз-Гол, обозначим через  $\Delta H_{\text{кбг}}$ , изменения уровня за счет тектонических составляющих водного баланса и речного стока через  $\Delta H_{\text{т.м.}}$  и  $\Delta H_{\text{т.р.}}$ .

В табл. 18 приведены сведения об изменении уровня моря за счет различных составляющих в 1892—1977 и 1978—1994 гг.

В 1892—1977 гг. климат способствовал подъему уровня моря на 2,22 м, отток в Кара-Богаз-Гол — падению на 2,87 м, их сумма обусловила спад уровня на 0,65 м, что составляет 27 % от фактического. Основным фактором в снижении уровня моря был отток из моря и рек, вклад которого составляет 73 %.

В 1978—1994 гг. климат и отток в Кара-Богаз-Гол обусловили подъем уровня на 0,12 м, что составляет всего 5 % от фактического подъема. Приток подземных вод в море и реки, практически равные между собой, способствовали подъему уровня на 2,27 м, что составляет 95 % от фактического. Таким образом, современный подъем уровня обусловлен разгрузкой подземных вод в море и реки.

В 1892—1977 гг. на фоне постоянного спада наблюдались периоды интенсивного падения уровня преимущественно климатического происхождения. Климатическое падение уровня было наиболее значительным в 1933—1940 гг. (60 % от общего спада) и в 1971—1977 гг. (62 %). Только в 1909—1913 гг. вклад тектоничес-

Вклад различных факторов в изменение уровня Каспийского моря, мм

Периоды	$\Delta H_{\text{кл.}}$	$\Delta H_{\text{хбг}}$	$\Delta H_{\text{кл.}} + \Delta H_{\text{хбг}}$	$\Delta H_{\text{т.м.}}$	$\Delta H_{\text{т.р.}}$	$\Delta H_{\text{т.м.}} + \Delta H_{\text{т.р.}}$	$\Delta H_{\text{факт.}}$
1892—1977	2221	-2869	-648	-1493	-269	-1762	-2410
%			27	62	11	73	100
1978—1994	420	-296	124	1127	1139	2266	2390
%			5	47	48	95	100

Вклад различных факторов в изменение уровня Каспийского моря в периоды наиболее интенсивного спада и подъема и в период наполнения водохранилищ Волжско-Камского каскада, мм

Периоды	$\Delta H_{\text{клим.}}$	$\Delta H_{\text{кбг}}$	$\Delta H_{\text{кл.}} + \Delta H_{\text{кбг}}$	$\Delta H_{\text{т.м.}}$	$\Delta H_{\text{т.р.}}$	$\Delta H_{\text{т.м.}} + \Delta H_{\text{т.р.}}$	$\Delta H_{\text{факт.}}$
Спад уровня							
1909—1913	-16	-214	-230	94	-414	-320	-550
%	3	39	42			58	100
1933—1940	-1039	-215	-1254	139	-605	-466	-1720
%	60	13	73			27	100
1948—1954	-314	-229	-543	-329	202	-127	-670
%	47	34	81			19	100
1971—1977	-375	-143	-518	133	-225	-92	-610
%	62	23	85			15	100
Подъем уровня							
1895—1896	274	-113	161	256	-57	199	360
%			45			55	100
1914—1916	702	-168	534	62	-76	-14	520
1926—1928	768	-159	599	-286	317	31	630
%			95			5	100
Наполнение водохранилищ							
1951—1973	619	-606	13	-315	-308	-623	-610

ких факторов составлял 58 %, в остальные периоды — 15—27 % (табл. 19).

Подъемы уровня моря в 1914—1916 и 1926—1928 гг. также были полностью обусловлены влиянием климата.

В табл. 19 приведены сведения о вкладе различных факторов в падение уровня моря в период наполнения водохранилищ Волжско-Камского каскада (1951—1973 гг.). Существует мнение, что оно сыграло решающую роль в спаде уровня. Между тем, наполнение водохранилищ сопровождалось значительным увеличением зимних расходов, которые повысились на 26 км<sup>3</sup>/год. Это привело к перераспределению годового стока, который уменьшился только на величину видимого испарения с поверхности водохранилищ. Однако, следует учитывать превышение видимого испарения с водохранилищ над его величиной до наполнения. Разность между ними ниже точности измерений расходов воды.

В период наполнения водохранилищ климатическое повышение уровня уравнивалось оттоком в Кара-Богаз-Гол. Отток из моря обусловил падение уровня на 0,32 м, отток из рек — на 0,31 м. Фактическое снижение уровня моря составило 0,61 м. Таким образом, понижение уровня моря в период наполнения водохранилищ было полностью обусловлено оттоком воды из моря и рек.

Анализ притока подземных и оттока поверхностных вод позволил обнаружить периоды, в течение которых они компенсировали друг друга (табл. 20).

Таблица 20

Периоды сбалансированных притока подземных и оттока поверхностных вод в Каспийском море, мм

Отток		Приток	
Периоды	Величина	Периоды	Величина
1894	-262	1895—1896	256
1897—1904	-276	1905—1910	293
1911—1919	-113	1920—1921	108
1922—1930	-654	1931—1937	666
1894—1930	-1305	1895—1937	1323
1838—1977	-814	1978—1991	788
1894—1977	-2119	1895—1991	2111

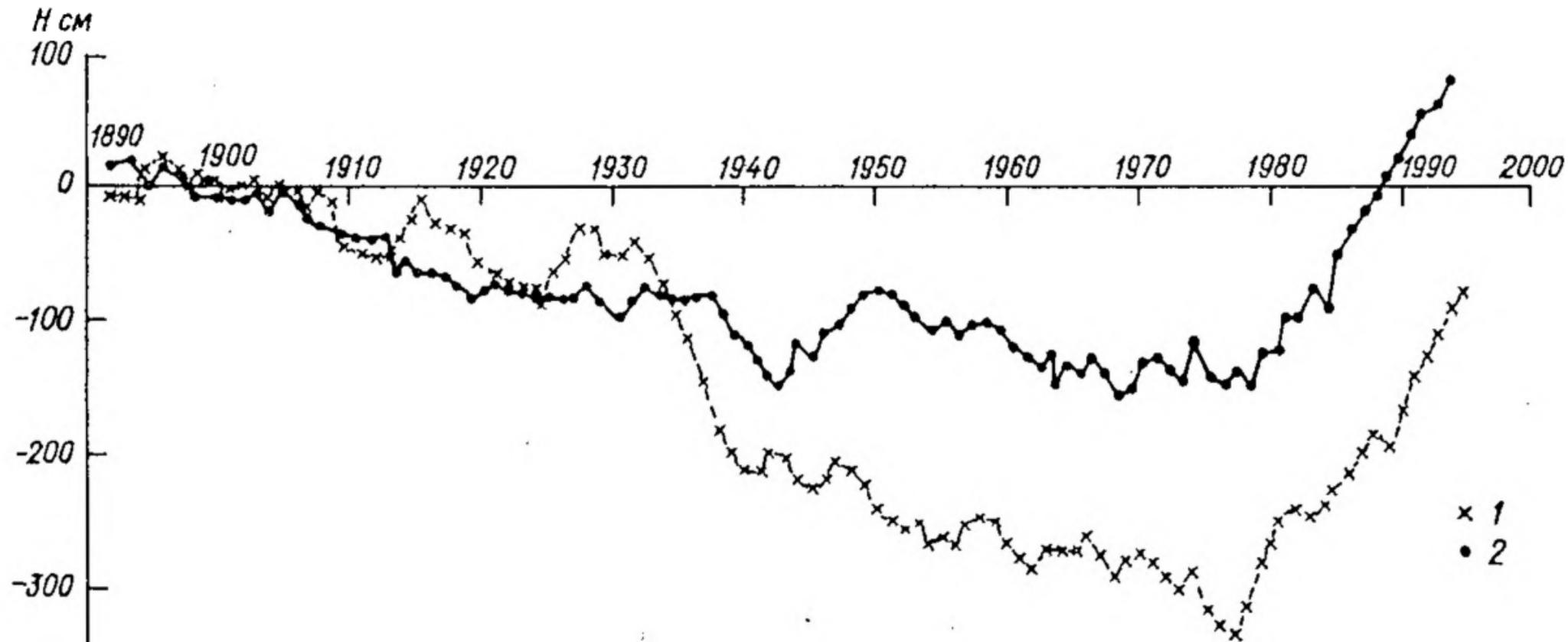


Рис. 30. Интегральные кривые приращений уровня Каспийского моря. 1 — фактический уровень, 2 — обусловленный тектоническими составляющими, водного баланса и речного стока.

В 1894—1937 гг. в море разгрузился слой воды 1,32 м и оттекло такое же количество (1,31 м). Продолжительность оттока 27 лет, притока подземных вод — 17 лет.

В 1938—1991 гг. приток подземных вод обусловил подъем уровня на 0,79 м, отток — падение уровня на 0,81 м. Отток продолжался 40 лет, приток 12 лет.

В 1894—1937 гг. продолжительность разгрузки подземных вод составляла 63 % от продолжительности оттока. Если распространить это соотношение на современный период, то с большой осторожностью можно предполагать, что разгрузка подземных вод продолжится до 2002 года, обусловив подъем уровня еще на 1,1 м.

На рис. 30 показан фактический уровень Каспийского моря и обусловленный тектоническими составляющими. До 1934 г. они совпадали, что свидетельствует о решающем влиянии на спад уровня оттока воды из моря и рек. Различие между ними началось в 1933—1940 гг. и усилилось в 1971—1977 гг. когда падение уровня было обусловлено влиянием климата.

Фактическая кривая подъема уровня моря в 1978—1994 гг. и обусловленная разгрузкой подземных вод практически совпадают (рис. 31). На этом же рисунке в области отрицательных значений уровня приведены фильтрационные потери стока (отток) Амударьи, пересчитанные на площадь Каспийского моря (1978—1988 гг.).

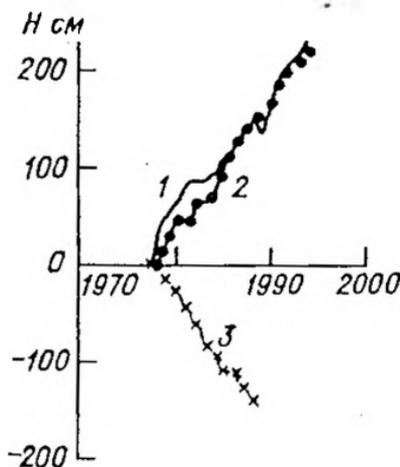


Рис. 31. Сравнение сумм приращений, относительно 1977 г., фактического уровня Каспийского моря (1) с обусловленным тектоническими составляющими водного баланса и речного стока (2). 3 — отток воды из русла Амударьи, пересчитанный на площадь моря.

В этот период за счет тектонических составляющих уровень моря повысился на 1,4 м, что полностью совпадает с оттоком воды из Амударьи.

Такое совпадение можно объяснить двумя причинами:

1. Сжатие котловины Каспия сопровождалось ослаблением напряжений в Приаралье и равными по величине выжиманием подземных вод в Каспийское море и оттоком воды из Амударьи.
2. Существует переток фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря, который в период сжатия котловины моря, когда прекратился отток, обусловил подъем уровня.

Первая причина представляется весьма сомнительной, т. к. трудно представить себе, что в различных геологических условиях и на столь больших расстояниях увеличение и ослабление напряжений в земной коре могут привести к адекватным реакциям.

В следующей части будут рассмотрены все виды потерь стока Амударьи и Сырдарьи, проанализированы причины падения уровня Аральского моря и приведены дополнительные косвенные данные, свидетельствующие о разгрузке фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря.

# Часть II

## Аральское море

### Глава 1. ПРИТОК ВОДЫ ИЗ ЗОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА И В МОРЕ

В 1970—80 гг. внимание научной общественности и многочисленных отечественных и зарубежных экологических организаций было привлечено к судьбе Аральского моря, которое исчезало на глазах. Падение уровня моря началось в 1961 г. К 1989 г. площадь моря относительно 1960 г. сократилась на 32453 км<sup>2</sup>, объем уменьшился на 768 км<sup>3</sup>, уровень понизился на 14,2 м.

Темпы снижения уровня моря постоянно нарастали: в 1961—1970 гг. — 0,18 м/год, 1971—1975 — 0,57 м/год, 1976—1980 — 0,60 м/год и в 1981—1985 гг. — 0,81 м/год. В 1986—1989 гг. интенсивность снижения уровня уменьшилась до 0,55 м/год (рис. 1). В настоящее время наблюдения на море практически прекращены.

Во всех работах, посвященных проблеме Аральского моря, обращается внимание на явление, лежащее на поверхности процесса — увеличение орошаемых площадей и, как следствие, рост безвозвратных потерь стока рек Амударьи и Сырдарьи. Наиболее достоверные сведения о динамике роста площадей орошаемых массивов, взятые из [32], приведены в табл. 1.

Но падение уровня моря сопровождалось и сокращением притока воды из зоны формирования стока, где вода не забирается на орошение. Оценить влияние этого природного фактора не представляет затруднений. Если приток в море уменьшился больше, чем из зоны формирования, то это свидетельствует об увеличении потерь стока. Равенство приращений означает стационарность потерь.

Рассмотрим приращения притока Амударьи и Сырдарьи из зоны формирования и в море, не конкретизируя на первом этапе анализа виды потерь стока в бассейнах рек (антропогенные, естественные).

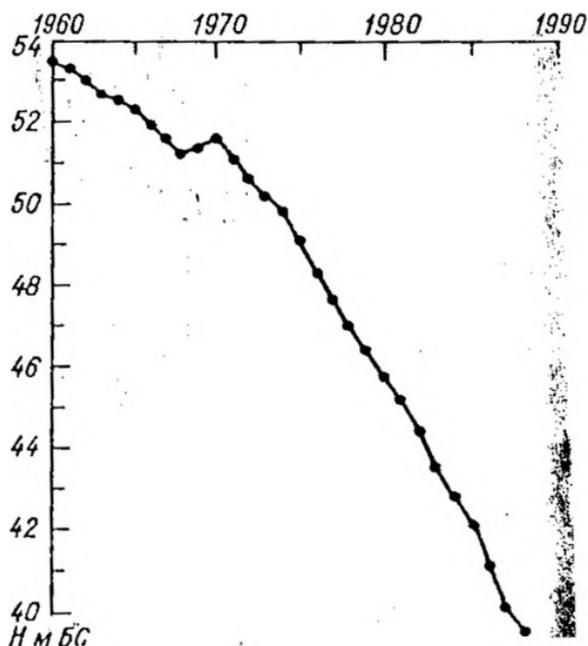


Рис. 1. Ход уровня Аральского моря (м БС) в 1960—1989 гг.

Приток из зоны формирования в 1932—1980 гг. рассчитан в Государственном Гидрологическом институте (ГГИ) [33], в последующие годы — автором. Приток в море до начала наблюдений на устьевых водпостах восстановлен в ГГИ.

Таблица 1

Площади орошаемых земель в бассейнах Амударья и Сырдарья (по данным [31]), тыс. га

Период, годы	Амударья	Сырдарья	Сумма
1961—1965	1647	1952	3599
1966—1970	1813	2174	3987
1971—1975	2038	2414	4452
1976—1980	2262	2566	4828

В табл. 2, 3 приведено сравнение приращений притока из зоны формирования и в море в отдельные периоды, характеризующиеся различной водностью рек в горах. В качестве начального выбран период практически стабильного уровня Аральского моря (1952—1960 гг.).

Таблица 2

Сравнение приращений притока Амударьи  
из зоны формирования стока и в море, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	$Q_{з.ф.}$	$Q_{м.}$	Потери стока
1952—1960	80,0	40,6	39,4
1961—1967	70,8	30,3	40,5
Приращения	-9,2	-10,3	1,1
1961—1967	70,8	30,3	40,5
1968—1973	83,9	29,5	54,4
Приращения	13,1	-0,8	13,9
1968—1973	83,9	29,5	54,4
1974—1976	63,2	8,8	54,4
Приращения	-20,7	-20,7	0,0
1974—1976	63,2	8,8	54,4
1977—1988	60,7	6,2	54,5
Приращения	-2,5	-2,6	0,1
1952—1960	80,0	40,6	30,4
1961—1988	68,4	18,7	49,7
Приращения	-11,6	-21,9	10,3

В Амударье в 1961—1967 гг. приток из зоны формирования относительно начального периода сократился на 9,2, а в море на 10,3 км<sup>3</sup>/год, что свидетельствует о преобладающем влиянии природного фактора.

В 1968—1973 гг. относительно 1961—1967 гг. приток из зоны формирования увеличился на 13,1 км<sup>3</sup>/год, а в море сократился на 0,8 км<sup>3</sup>/год. Следовательно, потери стока увеличились на 13,9 км<sup>3</sup>/год.

В 1974—1976 гг. относительно предшествующего периода, приток из зоны формирования и в море уменьшились на одну ту же величину.

В 1977—1988 гг. доля природного фактора в уменьшении притока в море составляла 96 %.

Сравнение приращений притока Сырдарьи  
из зоны формирования стока и в море, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	$Q_{з.ф.}$	$Q_{м.}$	Потери стока
1952—1960	43,4	10,6	32,8
1961—1967	34,2	6,1	28,1
Приращения	-9,2	-4,5	-4,7
1961—1967	34,2	6,1	28,1
1968—1973	44,8	6,4	38,4
Приращения	10,6	0,3	10,3
1968—1973	44,8	6,4	38,4
1974—1976	29,5	0,6	28,9
Приращения	-15,3	-5,8	-9,5
1974—1976	29,5	0,6	28,9
1977—1985	35,3	0,6	34,7
Приращения	5,8	0,0	5,8
1952—1960	43,4	10,6	32,8
1961—1985	36,6	3,5	33,1
Приращения	-6,8	-7,1	0,3

В течение всего периода (1961—1988 гг.) приток из зоны формирования уменьшился на 11,6, а в море на 21,9 км<sup>3</sup>/г. Таким образом, потери стока увеличились на 10,3 км<sup>3</sup>/год.

В Сырдарье происходило то увеличение, то уменьшение потерь. В среднем, в 1961—1985 гг. приток из зоны формирования и в море сократились практически на одну и ту же величину, что свидетельствует о стабильности потерь стока (табл. 3).

Рассмотрим причины колебаний притока из зоны формирования и различные виды потерь стока в бассейнах рек.

### 1.1. Потери стока в бассейне Амударьи

Сток Амударьи, составляющий около 70 % от суммарного, формируется в горах Тянь-Шаня осадками и таянием ледников. На рис. 2 показан многолетний ход стокообразующих осадков  $X$  (с ноября предшествующего по октябрь текущего года) на метеостанции Керки и притока из зоны формирования стока  $Q_{з.ф.}$ . Осредненная зависимость между ними имеет вид:

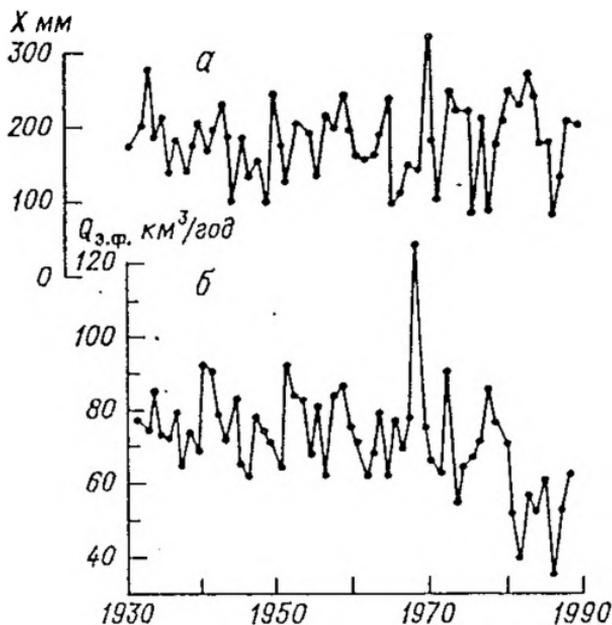


Рис. 2. Многолетний ход осадков на метеостанции Керки (а) и притока Амударьи из зоны формирования стока (б).

$$Q_{з.ф.} = 0,4 X + 10. \quad (1)$$

Условимся называть приток, рассчитанный по формуле (1), климатическим, а разность между фактическим и климатическим — аномалиями стока  $\Delta Q_{з.ф.}$ .

Как видно из рис. 2, в 1970—1988 гг. уменьшение притока происходило на фоне увеличения осадков. В эти годы аномалии стока достигали значительных величин, превосходящих точность измерения расходов воды в горах ( $\Delta = \pm 10\%$ ). В течение всего периода (1932—1988 гг.) за пределы  $\Delta$  выходило 37 %,  $2\Delta$  — 23 % и  $3\Delta$  — 17 % аномалий, что свидетельствует об их неслучайном характере. Поэтому естественно предположить, что при  $\Delta Q_{з.ф.} > 0$  в реку происходит разгрузка подземных вод, а при  $\Delta Q_{з.ф.} < 0$  — отток воды из русла. Впервые этот процесс, применительно к Амударье, был проанализирован в [23, 34], где было показано, что аномалии стока коррелируются с магнитудой и глубиной гипоцентра сильных землетрясений в русле Амударьи.

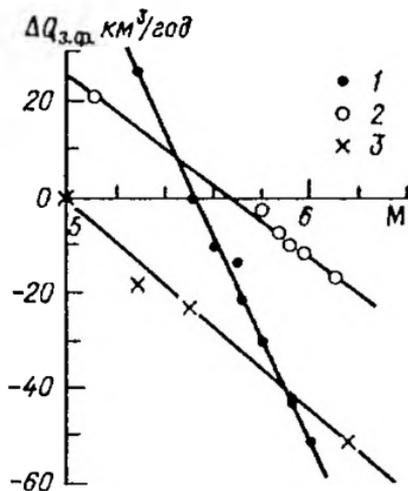


Рис. 3. Зависимость аномалий стока Амударьи в зоне формирования от магнитуды глубоких землетрясений в русле. 1 —  $h = 100$  км, 2 —  $h = 110$  км, 3 —  $h = 120$  км.

В настоящей работе зависимости, полученные в [23], существенно уточнены и детализированы.

В Приложении IV приведены сведения о землетрясениях в русле Амударьи и непосредственной близости от него. В процессе анализа для нескольких землетрясений были внесены уточнения в магнитуды и глубины гипоцентров, не выходящие за пределы точности их определения.

На рис. 3 приведены зависимости аномалий стока из зоны формирования от магнитуды глубоких ( $h \geq 100$  км) землетрясений, свидетельствующие об увеличении потерь с ростом магнитуды, наиболее значительном при  $h = 100$  км.

При неглубоких землетрясениях, гипоцентры которых расположены в пределах осадочной оболочки земли, с ростом глубины гипоцентра потери стока сначала уменьшаются, а затем увеличиваются, достигая максимальных значений при  $h = 10-11$  км (рис. 4). При  $h = 6-15$  км аномалии стока имеют положительный знак, что свидетельствует о разгрузке подземных вод в реку.

Учитывая тесную связь аномалий с параметрами землетрясений, будем называть фактор, их обуславливающий, тектоническим.

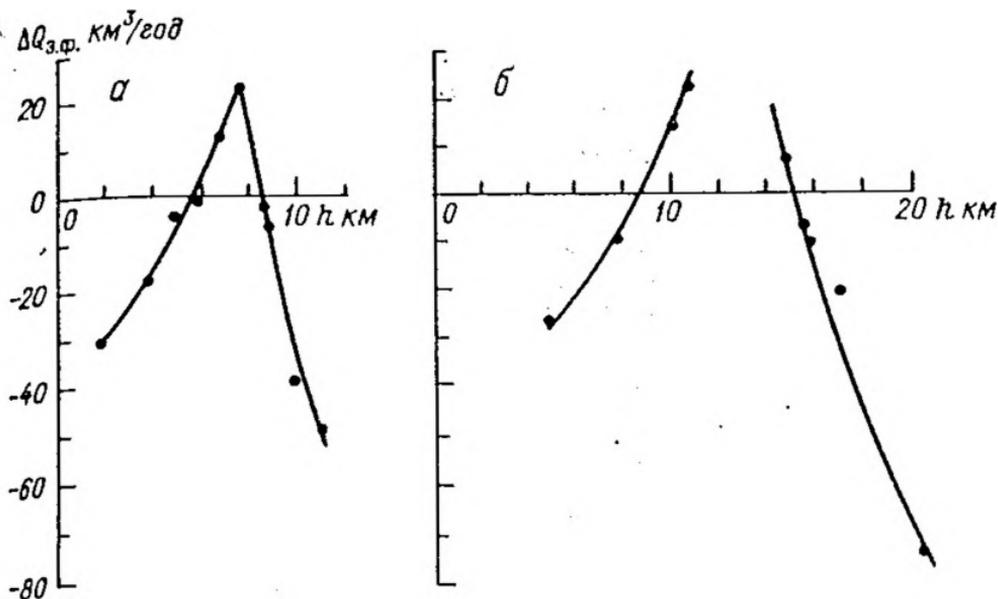


Рис. 4. Зависимость аномалий стока Амударьи в зоне формирования от глубины гипоцентра землетрясений при магнитуде  $M < 5$  (а) и  $M > 5$  (б).

Оценим вклады климатического и тектонического факторов в изменение притока из зоны формирования в те же периоды, которые рассматривались ранее (табл. 4).

В 1961—1967 гг. наибольшее влияние на уменьшение притока оказывали осадки. В 1968—1973 гг. фактический сток увеличился меньше, чем климатический, вследствие увеличения оттока воды из русла, продолжающегося и в последующие периоды.

В среднем, в 1961—1988 гг. вклад климатического фактора в уменьшение притока из зоны формирования стока составил 29 %, тектонического — 71 %.

В 1981—1988 гг. уменьшение притока относительно 1961—1980 гг. было полностью обусловлено тектоническим фактором, т. к. отток воды увеличился на 29,4 км<sup>3</sup>/год.

Напомним, что в эти же годы наблюдался значительный приток подземных вод в Каспийское море и впадающие в него реки.

Рассмотрим потери стока в бассейне реки. Они состоят из антропогенных и естественных. Оба вида потерь рассчитаны в Государственном Гидрологическом институте [33]. Естественные потери получены по невязкам русловых балансов и балансов бассейна реки (1953—1980 гг.). В русловом балансе расход в

Сведения об осадках, климатическом и фактическом притоке Амударьи из зоны формирования и аномалиях стока, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	X мм	Q <sub>з.ф.</sub>		Аномалии стока ΔQ <sub>з.ф.</sub>
		клим.	фактич.	
1952—1960	199	89,7	80,0	-9,7
1961—1967	164	75,6	70,8	-4,8
Приращения	-35	-14,1	-9,2	-4,9
1961—1967	164	75,6	70,8	-4,8
1968—1973	213	95,1	83,9	-11,2
Приращения	49	19,5	13,1	6,4
1968—1973	213	95,1	83,9	-11,2
1974—1976	178	81,3	63,2	-18,1
Приращения	-35	-13,8	-20,7	6,9
1974—1976	178	81,3	63,2	-18,1
1977—1988	198	89,2	60,7	-28,5
Приращения	20	7,9	-2,5	10,4
1952—1960	199	89,7	80,0	-9,7
1961—1988	191	86,4	68,4	-18,0
Приращения	-8	-3,3	-11,6	8,3
1961—1980	185	84,2	74,9	-9,3
1981—1988	203	91,1	52,4	-38,7
Приращения	18	6,9	-22,5	29,4

верхнем створе равен расходу реки, в водном балансе бассейна — притоку из зоны формирования стока.

После 1980 г. русловые балансы взяты из Гидрологических ежегодников, до 1953 г. рассчитаны автором.

Осредненные по пятилеткам невязки водных балансов реки ΔQ<sub>бас.</sub> связаны с невязками русловых балансов δ следующей зависимостью:

$$\lg(\Delta Q_{\text{бас.}} + 20) = 0,909 \lg(\delta + 20) - 0,102 \quad (2)$$

Формула (2) может быть представлена и в другом виде:

$$\Delta Q_{\text{бас.}} = 0,79(\delta + 20)^{0,91} - 20 \quad (3)$$

Строго говоря, эти формулы могут быть использованы для расчета годовых величин  $\Delta Q_{\text{бас}}$  при условии, что невязки руслых балансов находятся в пределах изменения их осредненных по пятилеткам величин. Однако, учитывая слабую нелинейность формул (показатель степени при  $(\delta + 20)$  близок к единице), можно по годовым величинам  $\delta$  рассчитать  $\Delta Q_{\text{бас}}$ .

Существование систематических невязок балансов, означающих потери стока неизвестного происхождения, не прошло незамеченным в ГГИ. На Амударью была организована экспедиция, которая, к сожалению, не смогла разобраться в этом сложном вопросе, объяснив отток воды неточностью измерений расходов воды, тем самым игнорируя то, что ошибки измерений распределены по нормальному закону, т. е. должны иметь разные знаки. В дальнейшем невязки без должного обоснования были отнесены к испарению с влаголюбивой растительности, растущей по берегам реки [35].

Нет ничего удивительного в том, что специалисты ГГИ не смогли понять, куда же уходит вода из русла, ибо гидрологи привыкли рассматривать гидросферу вне связи с процессами в глубоких слоях земной коры.

Под руслом Амударьи, текущей, как и все реки, по разлому, находится раздробленный фундамент [36], что приводит к постоянному оттоку воды, величины которого регулируются напряжениями в земной коре.

Невязки балансов бассейна реки и потери стока в дельте ( $\Delta Q_{\text{д}}$ ), так же, как аномалии стока в зоне формирования, связаны с параметрами землетрясений. При глубоких землетрясениях они зависят от магнитуды (рис. 5а), при неглубоких — от глубины гипоцентра (рис. 5б). Обращает на себя внимание зеркальность зависимостей для дельты и бассейна, что свидетельствует о наличии зон сжатия и растяжения по длине реки. Суммы невязок образуют единые зависимости (рис. 6).

По-видимому, трансформация полей напряжений происходит в районе дельты. Основанием для такого предположения является то, что колебания потерь в бассейне реки с запаздыванием на 1 год и в зоне формирования на 3—4 года повторяют колебания потерь стока в дельте.

Между потерями в дельте и в зоне формирования стока со сдвигом на 3—4 года существуют тесные экспоненциальные зависимости, выведенные по гребням и ложбинам колебаний (рис. 7):

$$\Delta Q_{\text{з.ф.}} = a \cdot \exp(b \cdot \Delta Q_{\text{д}}) - 100. \quad (4)$$

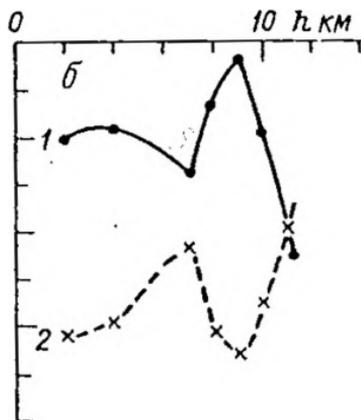
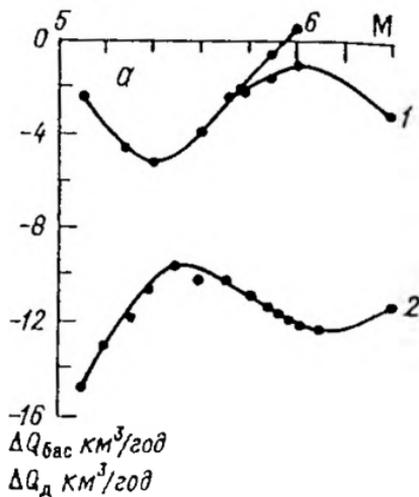


Рис. 5. Зависимость потерь стока в дельте Амударьи (1) и бассейне реки (2) от магнитуды при  $h > 50$  км (а) и глубины гипоцентра при  $M < 5$  (б).

Коэффициенты  $a$  и  $b$  для различных периодов приведены в табл. 5. Неоднозначность зависимостей объясняется уменьшением потерь в дельте в 1977—1988 гг., вследствие сокращения притока к ее вершине.

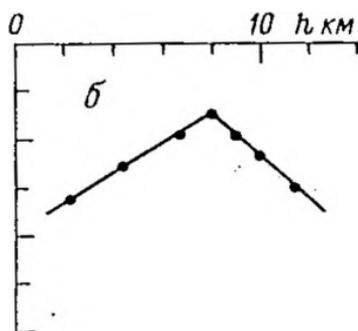
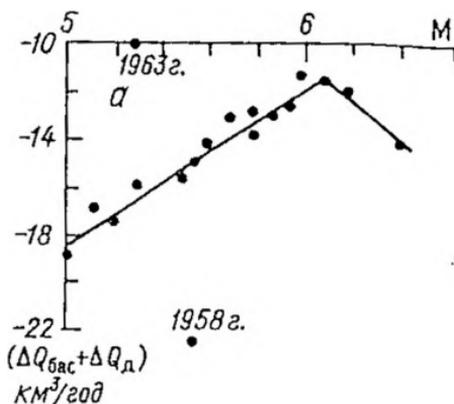


Рис. 6. Зависимость суммы фильтрационных потерь стока в бассейне Амударьи и в дельте от магнитуды (а) и глубины гипоцентра (б) землетрясений.

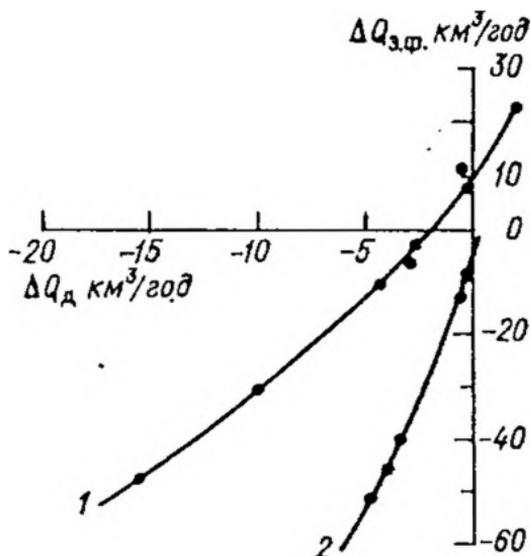


Рис. 7. Связь между аномалиями стока Амударьи в зоне формирования и потерями в дельте в (n-3) году. 1 — 1962—1976 гг., 2 — 1977—1988 гг.

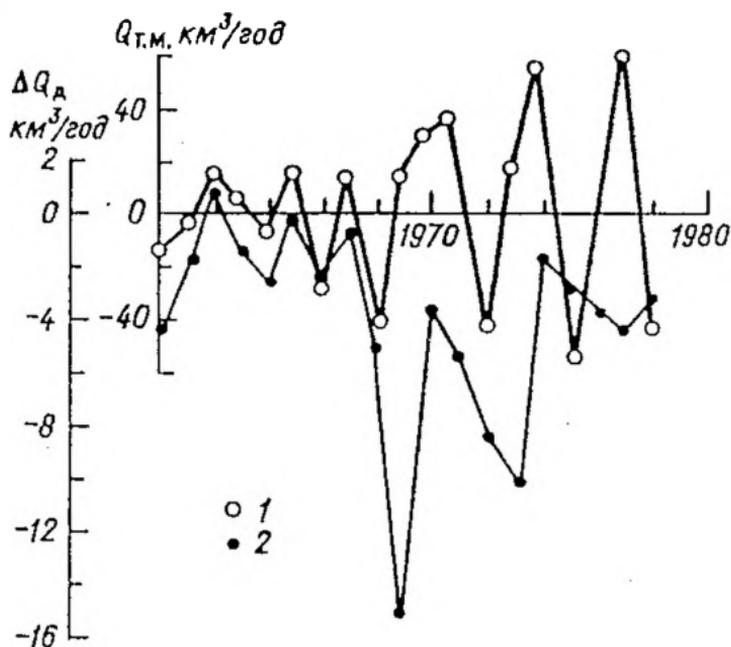


Рис. 8. Многолетний ход тектонической составляющей водного баланса Каспийского моря (1) и потерь стока в дельте Амударьи (2).

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в формуле (4)

Номер кривой	Период, годы	$a$	$b$	Средние потери стока в дельте км <sup>3</sup> /год
1	1962—1976	109,6	0,0483	4,3
2	1977—1988	95,5	0,1610	2,6

Кроме того, обращает на себя внимание практически параллельный многолетний ход тектонической составляющей водного баланса Каспийского моря и потерь стока в дельте Амударьи, что является следствием взаимосвязанности полей напряжений вокруг Каспийского и Аральского морей (рис. 8).

В Приложении V приведены сведения о стокообразующих осадках, климатическом и фактическом притоке из зоны формирования, потерях стока в бассейне реки и в дельте (фильтрационные потери) и антропогенных потерях  $\Delta Q_{\text{ап.}}$ , рассчитанных по формуле:

$$\Delta Q_{\text{ап.}} = Q_{\text{з.ф.}} - \Delta Q_{\text{бас.}} - \Delta Q_{\text{д.}} - Q_{\text{м.}} \quad (5)$$

Антропогенные потери включают все виды потерь, связанных с хозяйственной деятельностью человека: орошение, водоснабжение, рыбное хозяйство, внутри и межбассейновые переброски стока и т. д. Средние по пятилеткам величины антропогенных потерь совпадают с рассчитанными в ГГИ.

Рассмотрим влияние всех видов потерь стока на приток воды в море в те же периоды, которые анализировались выше (табл. 6).

Во все периоды, кроме 1968—1973 гг., наблюдалось равенство между сокращением притока из зоны формирования и в море. Это является следствием разнонаправленных изменений антропогенных и фильтрационных потерь. Действительно, в 1974—1976 гг., антропогенные потери увеличились, а фильтрационные сократились на 3,1 км<sup>3</sup>/год. В 1977—1988 гг. их изменения равны 1,3 км<sup>3</sup>/год. Вероятно, это является следствием того, что отток воды регулируется не только напряжениями в земной коре, но и напором воды в русле, который уменьшается пропорционально изъятиям стока.

Сведения о притоке Амударьи из зоны формирования и его аномалиях, фильтрационных и антропогенных потерях стока, притоке в море, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	Q <sub>з.ф.</sub>		ΔQ <sub>з.ф.</sub>	Фильтрационные потери			ΔQ <sub>ап.</sub>	Q <sub>м.</sub>	$\frac{\Delta Q_{ап.}}{Q_{з.ф.} - \Delta Q_{бас.} - \Delta Q_{г.}}$ , %
	клим.	факт.		ΔQ <sub>бас.</sub>	ΔQ <sub>п.</sub>	Σ			
1952—1960	89,7	80,0	-9,7	12,2	6,8	19,0	20,3	40,6	33
1961—1967	75,6	70,8	-4,8	11,5	1,2	12,7	27,8	30,3	48
Приращения	-14,1	-9,2	-4,9	-0,7	-5,6	-6,3	7,5	-10,3	15
1961—1967	75,6	70,8	-4,8	11,5	1,2	12,7	27,8	30,3	48
1968—1973	95,1	83,9	-11,2	9,8	8,2	18,0	36,4	29,5	55
Приращения	19,5	13,1	6,4	-1,7	7,0	5,3	8,6	-0,8	7
1968—1973	95,1	83,9	-11,2	9,8	8,2	18,0	36,4	29,5	55
1974—1976	81,3	63,2	-18,1	12,1	2,8	14,9	39,5	8,8	82
Приращения	-13,8	-20,7	6,9	2,3	-5,4	-3,1	3,1	-20,7	27
1974—1976	81,3	63,2	-18,1	12,1	2,8	14,9	39,5	8,8	82
1977—1988	89,2	60,7	-28,5	11,0	2,6	13,6	40,8	6,2	87
Приращения	7,9	-2,5	10,4	-1,1	-0,2	-1,3	1,3	-2,6	5
1961—1980	84,2	74,9	-9,3	11,0	4,0	15,0	36,7	23,2	61
1981—1988	91,1	52,4	-38,7	10,9	1,6	12,5	35,8	3,6	90
Приращения	6,9	-22,5	29,4	-0,1	-2,4	-2,5	-0,9	-19,6	29

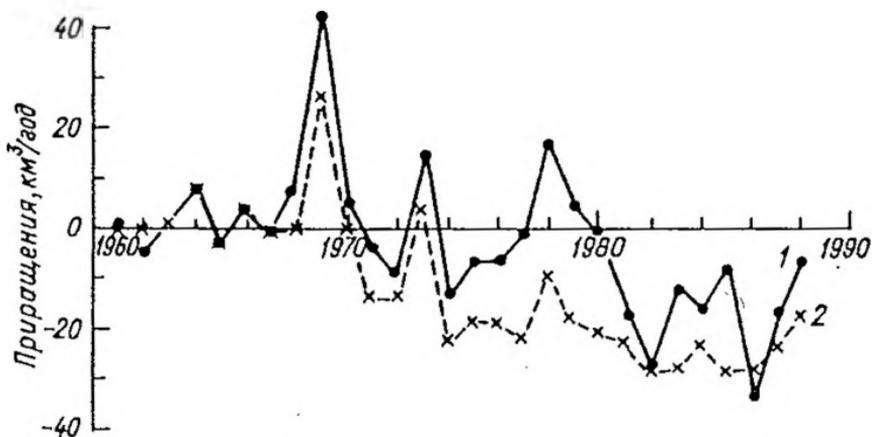


Рис. 9. Многолетний ход приращений притока Амударьи из зоны формирования (1) и в море (2), относительно 1960 г.

Отношение антропогенных потерь к реальным запасам воды в русле, равным разности между притоком из зоны формирования и фильтрационными потерями, увеличилось с 33 % в 1952—1960 гг. до 90 % в 1981—1988 гг.

На рис. 9 приведено сравнение приращений притока из зоны формирования с приращениями притока воды в море относительно 1960 г. До 1968 г. они практически совпадали. Рост антропогенных потерь происходил в 1968 и 1975—80 гг., после чего они сократились из-за уменьшения притока из зоны формирования.

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Сокращение притока Амударьи в море в 1961—1988 гг. было обусловлено уменьшением притока из зоны формирования и ростом антропогенных потерь.

2. Уменьшение притока воды из зоны формирования на 29 % было обусловлено осадками и на 71 % оттоком воды из русла.

3. Антропогенные потери оказали существенное влияние на приток в море в 1968 и в 1975—1980 гг. В остальные периоды их рост компенсировался уменьшением оттока воды в бассейне реки и в дельте.

4. Аномалии стока в зоне формирования и фильтрационные потери в бассейне реки и в дельте тесно связаны с параметрами землетрясений в русле Амударьи.

5. В 1981—1988 гг. сокращение притока в море относительно 1961—1980 гг. было полностью обусловлено оттоком воды из русла в зоне формирования.

## 1.2. Потери стока в бассейне Сырдарьи

Сырдарья образуется слиянием рек Нарын (на долю которой приходится 77 % стока) и Карадарьи (23 %). Анализ потерь стока производился по такой же методике, как и для Амударьи.

На рис. 10 показан многолетний ход стокообразующих осадков на метеостанции Нарын и годового притока из зоны формирования стока. Зависимость между ними имеет вид:

$$Q_{з.ф.} = 0,1X + 10 \quad (6)$$

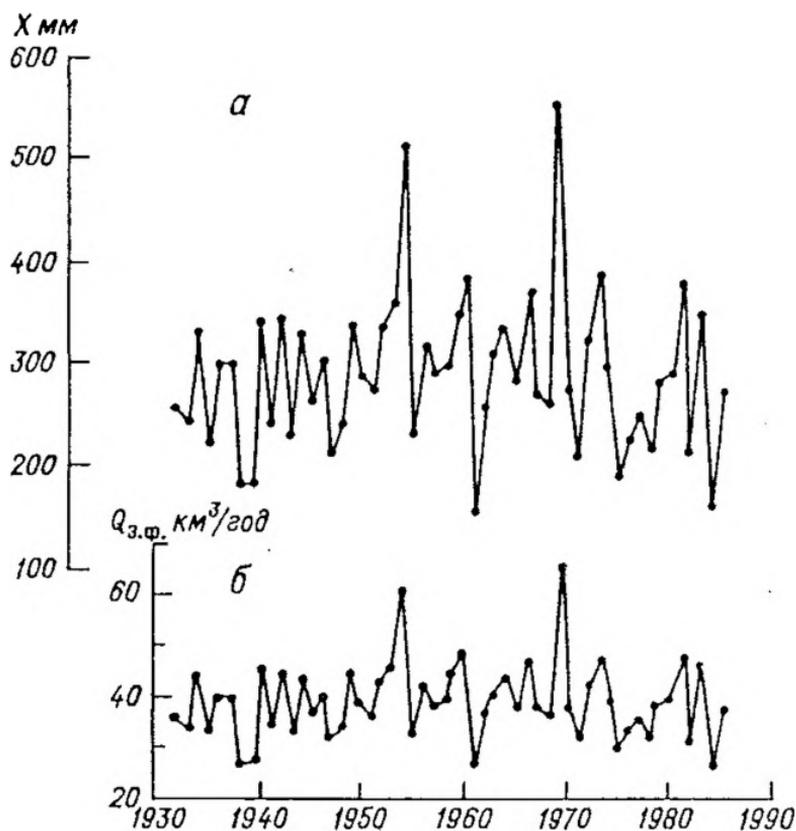


Рис. 10. Многолетний ход осадков на метеостанции Нарын (а) и притока Сырдарьи из зоны формирования стока (б).

Обращает на себя внимание равенство свободных членов в формулах для Амударьи и Сырдарьи.

Рассмотрим вклады климатического и тектонического факторов в изменение притока из зоны формирования (табл. 7). Во все периоды определяющим являлся климатический фактор, его средний вклад в 1961—1985 гг. составил 79 %, тектонического — 21 %.

Как и в Амударье, русловые балансы Сырдарьи на участке Тюмень-Арык—Казалинск (от нижней границы зоны формирования до вершины дельты) содержат систематические отрицательные невязки, свидетельствующие о естественных потерях стока. Осредненные по пятилеткам невязки водного баланса бассейна реки ( $\Delta Q_{\text{бас.}}$ ) связаны с невязками руслового баланса  $\delta$  следующей зависимостью:

Таблица 7

Сведения об осадках, климатическом и фактическом притоке Сырдарьи из зоны формирования и аномалиях стока, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	X мм	Q <sub>з.ф.</sub>		Аномалии стока $\Delta Q_{\text{з.ф.}}$
		клим.	фактич.	
1952—1960	342	44,2	43,4	-0,8
1961—1967	289	38,9	34,2	-4,7
Приращения	-53	-5,3	-9,2	3,9
1961—1967	289	38,9	34,2	-4,7
1968—1973	335	43,5	44,8	1,3
Приращения	46	4,6	10,6	-6,0
1968—1973	335	43,5	44,8	1,3
1974—1976	243	34,3	29,5	-4,8
Приращения	-92	-9,2	-15,3	6,1
1974—1976	243	34,3	29,5	-4,8
1977—1985	272	37,2	35,3	-1,9
Приращения	29	2,9	5,8	-2,9
1952—1960	342	44,2	43,4	-0,8
1961—1985	288	28,8	36,6	-2,2
Приращения	-54	-5,4	-6,8	1,4
1961—1980	290	39,0	37,0	-1,5
1981—1985	279	37,9	33,0	-4,9
Приращения	-11	-1,1	-4,5	3,4

$$\lg (\Delta Q_{\text{бас.}} + 20) = 9,091 \lg (\delta + 20) - 10,21 \quad (7)$$

В формуле (7) коэффициент, стоящий перед первым членом в правой части уравнения, в 10 раз, а свободный член в 100 раз больше чем в аналогичной формуле для Амударьи, что свидетельствует о взаимосвязи потерь стока и сейсмических процессов в руслах обеих рек.

Формула (7) может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta Q_{\text{бас.}} = 6,17 \cdot 10^{-11} (\delta \neq 20)^{9,091} - 20 \quad (8)$$

Вследствие значительной нелинейности, формулы (7) и (8) могут быть использованы для расчета годовых величин потерь стока в бассейне реки только при условии, что невязки русловых балансов не выходят за пределы осредненных по пятилеткам величин. По этой причине в табл. 8 приведены только их значения, осредненные по пятилеткам.

Анализ табл. 8 позволяет обнаружить интересные закономерности. В 1971—1975 и 1981—1985 гг. относительно предшествующих периодов уменьшение притока из зоны формирования сопровождалось равным по величине сокращением фильтрационных потерь (отток воды) в бассейне реки и в дельте, что свидетельствует о взаимосвязи естественных потерь в различных зонах.

Если же рассматривать более длительные периоды, то рост антропогенных потерь компенсировался сокращением фильтрационных. Так, в 1961—1985 гг. антропогенные потери увеличились на 4,4 км<sup>3</sup>/год, а фильтрационные сократились на 4,2 км<sup>3</sup>/год. Аналогичная ситуация наблюдалась в 1971—1985 гг. относительно 1961—1970 гг. В результате этого, приток в море уменьшился практически на такую же величину, как из зоны формирования стока.

В Приложении VI приведены величины стокообразующих осадков, притока из зоны формирования, аномалии стока, суммы антропогенных и фильтрационных потерь в бассейне реки, приток в море и потери в дельте.

Сведения об осадках, притоке воды из зоны формирования и в море и потерях стока Сырдарьи, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	X мм	Q.ф.		$\Delta Q_{\text{з.ф.}}$	Фильтрационные потери			$\Delta Q_{\text{ап.}}$	Q.м.	$\frac{\Delta Q_{\text{ап.}}}{Q_{\text{з.ф.}} - \Delta Q_{\text{бас.}} - \Delta Q_{\text{г}}}$ , %
		клим.	факт.		$\Delta Q_{\text{бас.}}$	$\Delta Q_{\text{л.}}$	$\Sigma$			
1961—1965	275	37,5	32,6	-4,9	4,9	3,2	8,1	18,4	6,1	75
1966—1970	348	44,8	46,2	1,4	10,5	3,7	14,2	25,1	6,9	78
Приращения	73	7,3	13,6	-6,3	5,6	0,5	6,1	6,7	0,8	3
1966—1970	348	44,8	46,2	1,4	10,5	3,7	14,2	25,1	6,9	78
1971—1975	283	38,3	34,4	-3,9	1,9	1,7	3,6	27,2	3,6	89
Приращения	-65	-6,5	-11,8	5,3	-8,6	-2,0	-10,6	2,1	-3,3	11
1971—1975	283	38,3	34,4	-3,9	1,9	1,7	3,6	27,2	3,6	89
1976—1980	256	35,6	36,8	1,2	6,2	0,6	6,8	29,1	0,9	97
Приращения	-27	-2,7	2,4	-5,1	4,3	-1,1	3,2	1,9	-2,7	8
1976—1980	256	35,6	36,8	1,2	6,2	0,6	6,8	29,1	0,9	97
1981—1985	279	37,9	33,0	-4,9	2,0	1,0	3,0	29,8	0,2	99
Приращения	23	2,3	-3,8	6,1	-4,2	0,4	-3,8	0,7	-0,7	2
1961—1970	311	41,1	39,4	-1,7	7,7	3,5	11,2	21,7	6,5	76
1971—1985	273	37,3	34,7	-2,6	3,4	1,1	4,5	28,7	1,6	95
Приращения	-38	-3,8	-4,7	0,9	-4,3	-2,4	-6,7	7,0	-4,9	19
1952—1960	342	44,2	43,4	-0,8	4,2	7,1	11,3	21,5	10,6	67
1961—1985	288	38,8	36,6	-2,2	5,1	2,0	7,1	25,9	3,6	88
Приращения	-54	-5,4	-6,8	1,4	0,9	-5,1	-4,2	4,4	-7,0	21
1961—1980	290	39,0	37,5	-1,5	5,9	2,3	8,2	25,0	4,4	85
1981—1985	279	37,9	33,0	-4,9	2,0	1,0	3,0	29,8	0,2	99
Приращения	-11	-1,1	-4,5	3,4	-3,6	1,3	-5,2	4,8	-4,2	14

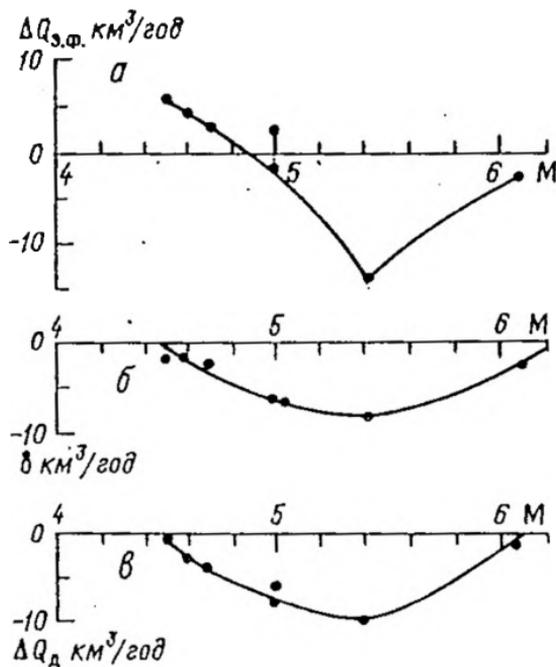


Рис. 11. Зависимость аномалий стока Сырдарьи в зоне формирования (а), невязок русловых балансов (б) и потерь в дельте (в) от магнитуды землетрясений в русле при глубинах гипоцентра  $h = 14-15$  км.

Аномалии стока из зоны формирования, невязки русловых балансов и потери в дельте связаны с параметрами землетрясений в русле Сырдарьи, сведения о которых приведены в Приложении VII. В качестве примера на рис. 11 приведены зависимости фильтрационных потерь от магнитуды землетрясений при глубине гипоцентра  $h = 14-15$  км.

От параметров землетрясений в русле Сырдарьи зависят и аномалии стока и естественные потери в Амударье, что свидетельствует о связи сейсмических процессов в руслах рек.

#### Выводы:

1. Уменьшение притока из зоны формирования в 1961—1985 гг. относительно периода стабильного уровня моря (1952—1960 гг.)

было преимущественно обусловлено сокращением осадков в горах.

2. В 1961—1985 гг. рост антропогенных потерь скомпенсировался сокращением фильтрационных потерь в бассейне реки и в дельте, вследствие чего приток в море сократился на такую же величину, как и в зоне формирования стока.

3. Аномалии стока в зоне формирования и фильтрационные потери в бассейне реки и в дельте связаны с параметрами землетрясений в русле реки.

## Глава 2. ВОДНЫЙ БАЛАНС АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ПРИЧИНЫ ПАДЕНИЯ ЕГО УРОВНЯ

В табл. 9 приведены составляющие водного баланса Аральско-го моря в 1952—1960 и 1961—1985 гг.\*

Видимое испарение с акватории моря в 1952—1960 гг. взято по данным расчетов в [37], в 1961—1985 гг. — по [38].

При расчете изменения объема моря следует учитывать фактический приток из зоны формирования, потери стока в бассейнах рек, дельтах, антропогенные потери и видимое испарение. Существенная невязка водного баланса в 1952—1960 гг. может быть отнесена к подземному притоку в море.

В 1961—1985 гг. значительно сократился приток из зоны формирования стока, при одинаковых вкладах климата и тектоники. Антропогенные потери увеличились на  $21,1 \text{ км}^3/\text{год}$ , уменьшился слой видимого испарения. Стабилизирующее влияние площади моря дало экономию воды в размере  $7,4 \text{ км}^3/\text{год}$ , что соответствует слою воды  $1,3 \text{ м}$ .

В результате влияния климата, тектоники и антропогенных изъятий стока море недополучило огромный объем воды. На рис. 12

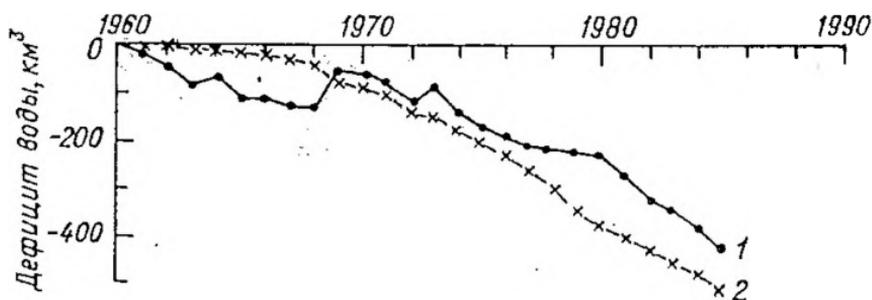


Рис. 12. Многолетний ход нарастающего дефицита воды относительно 1952—1960 гг. за счет сокращения притока Амударьи и Сырдарьи из зоны формирования стока (1) и роста антропогенных потерь (2).

\*Изменение объема моря определялось по разности объемов 1 января текущего и последующего годов.

Составляющие водного баланса Аральского моря, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	$\bar{F}$ км <sup>2</sup>	$\bar{V}$ км <sup>3</sup>	Приток из зоны формирования стока		Потери стока			
					Отток воды			антропогенные
			клим.	факт.	зона формирования	бассейн	дельта	
1952—1960	66401	1060	133,9	123,4	10,5	16,4	14,0	41,8
1961—1985	57363	840	126,0	107,1	18,9	16,1	5,6	62,9
Приращения	-9038	-220	-7,9	-16,3	8,4	-0,3	-8,4	21,1
Период, годы	Е — X		Изменение объема		Невязка			
	мм	км <sup>3</sup>	расч.	фактич.				
1952—1960	932	61,9	-10,7	5,5	16,2			
1961—1985	869	50,3	-27,8	-28,4	-0,6			
Приращения	-63	-11,6		-34,1				

показан нарастающий по годам дефицит воды относительно 1952—1960 гг., обусловленный сокращением притока из зоны формирования и увеличения антропогенных потерь.

Природные факторы (без учета снижения площади моря) обусловили дефицит воды в размере  $525 \text{ км}^3$ , антропогенные —  $528 \text{ км}^3$ . Таким образом, вклад их одинаковый.

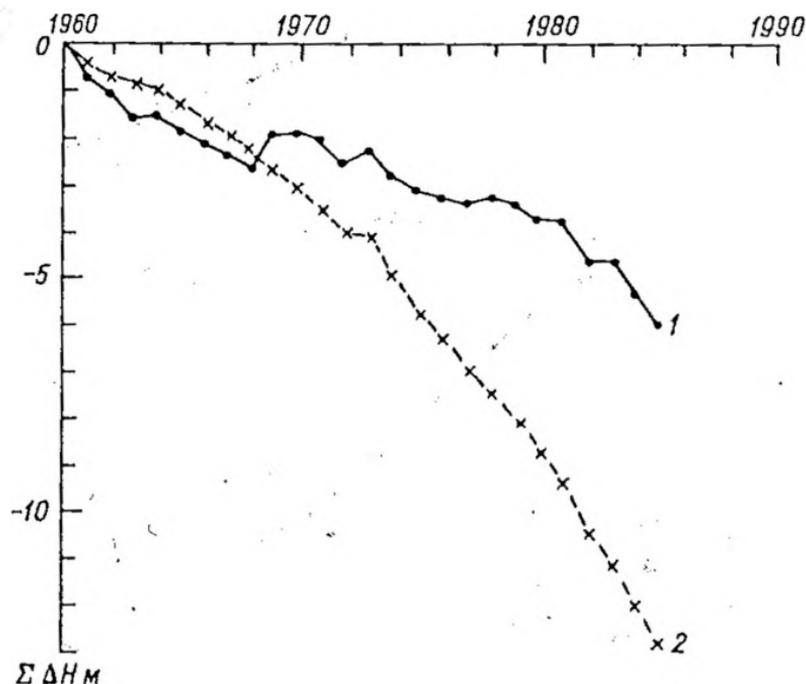


Рис. 13. Падение уровня Аральского моря за счет климатического и тектонического факторов (1) и их суммы с антропогенными потерями стока рек (2).

За счет естественных причин уровень моря понизился на 6 м, антропогенных — 6,9 м (рис. 13).

В 1981—1985 гг. падение уровня было полностью обусловлено сокращением притока из зоны формирования из-за значительного оттока воды в руслах рек.

Таким образом, падение уровня Аральского моря является следствием наложения неблагоприятных природных и антропогенных факторов. При отсутствии влияния природных факторов уровень понизился бы на 6,9 м, что также весьма существенно для моря и окружающей территории.

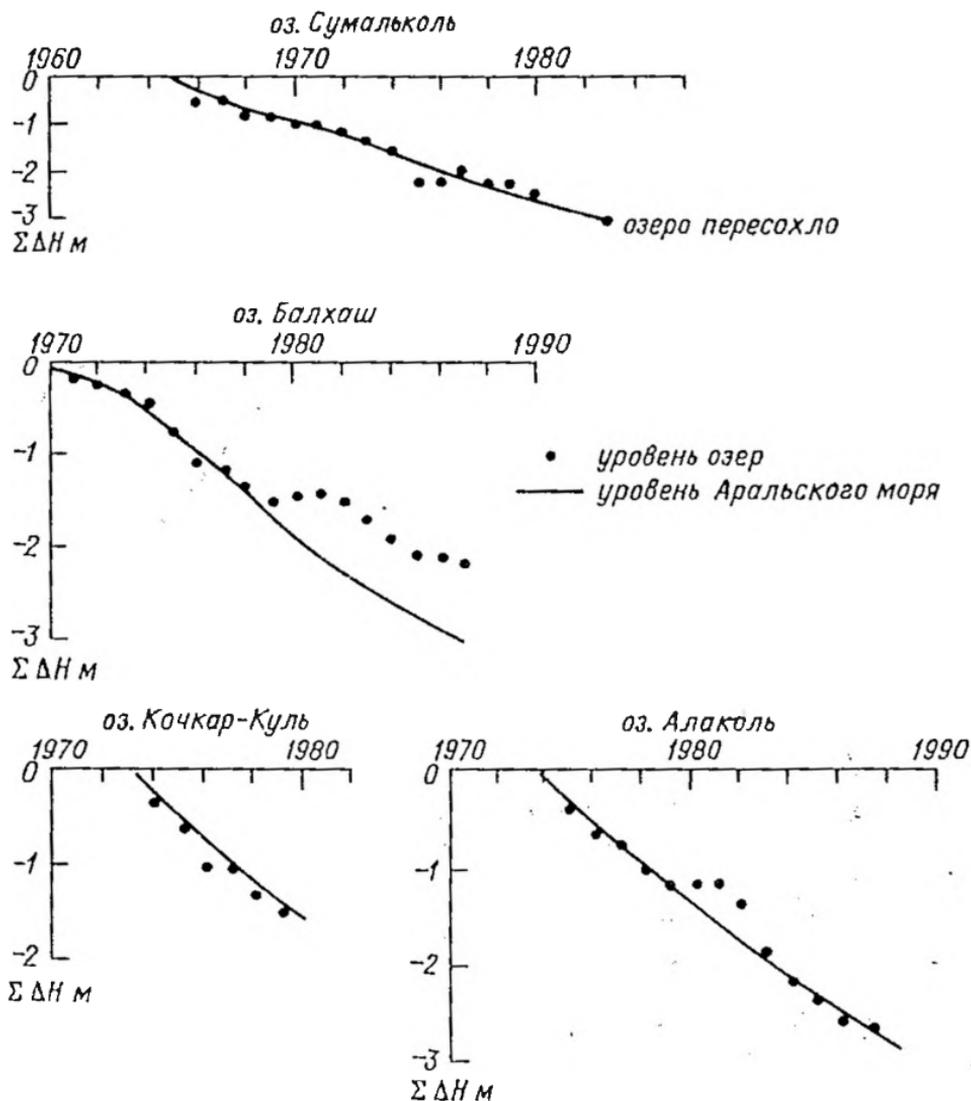


Рис. 14. Сравнение хода уровней некоторых озер Средней Азии с начала их падения со спадом уровня Аральского моря за счет фильтрационных потерь стока в бассейне Амударьи.

Следует отметить, что в современный период понижается уровень не только Аральского моря, но и многочисленных озер Средней Азии.

В 1965 г. началось падение уровня озера Сумальколь, наблюдения на котором начаты в конце 1964 г. Озеро соленое, бессточное, вода из озера не забирается на орошение. В 1983 г. озеро пересохло.

В 1971 г. началось понижение уровня озера Балхаш, которое обычно связывают с наполнением Капчагайского водохранилища на р. Или, в 1974 г. — озера Кочкар-Куль, в 1975 г. — озера Алаколь.

Ход уровня всех этих озер с начала падения практически совпадает со спадом уровня Аральского моря за счет фильтрационных потерь стока в бассейне Амударьи (рис. 14). На озере Балхаш различие наблюдалось только в 1979 г., после которого — снова параллельный ход.

Ограниченное количество данных на рис. 14, объясняется отсутствием опубликованных сведений об уровнях после 1987 г. На оз. Кочкар-Куль с 1981 г. прекращены наблюдения. Не исключено, что озеро пересохло.

Согласованный ход уровня дает основание предполагать, что процесс ослабления напряжений в земной коре постепенно распространяется на восток, обуславливая фильтрационные потери стока либо в реках, впадающих в озера, либо в самих озерах. Для объяснения этого феноменального явления необходимо провести специальный анализ режима озер, что выходит за рамки настоящего исследования. Есть все основания полагать, что в результате этого анализа будет получена пространственная картина изменения полей напряжений на обширной территории Средней Азии.

### Глава 3. СРАВНЕНИЕ УРОВНЕЙ И ИЗМЕНЕНИЙ ОБЪЕМОВ АРАЛЬСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Несмотря на внешнюю несхожесть климатических условий в зонах формирования стока рек Прикаспийского и Аральского регионов, поверхностный приток в Каспий и приток Амударьи к вершине дельты, на долю которого приходится около 70 % общего стока, находятся в достаточно тесной корреляционной зависимости, неоднозначность которой определяется влиянием величины антропогенных потерь стока (рис. 15).

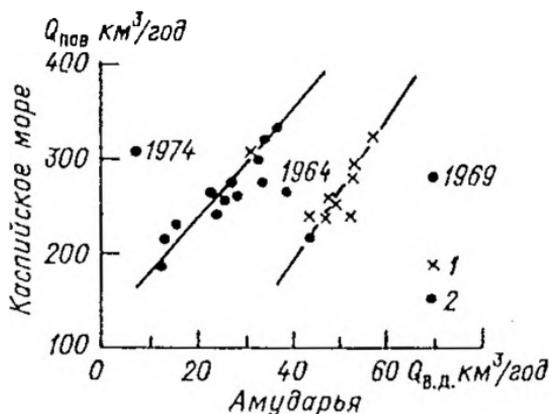


Рис. 15. Связь между поверхностным притоком в Каспийское море и к вершине дельты Амударьи. 1 — 1952—1960 гг, 2 — 1961—1977 гг.

Следует обратить внимание, что наполнение водохранилищ Волжско-Камского каскада никак не отразилось на характере зависимостей, что является дополнительным аргументом в пользу утверждения об отсутствии существенного влияния наполнения на сток Волги.

Связь между притоками означает идентичность не только климатических, но и сейсмических процессов в регионах, опреде-

ляющих фильтрационные потери стока и отток из моря (в некоторые годы приток подземных вод). Можно показать, что отток (приток) в Каспий коррелируется с параметрами землетрясений в русле Амударьи.

Между видимым испарением с акватории морей также существует прямая зависимость.

Наличие корреляционных связей между составляющими водного баланса определяет и зависимость между уровнями морей (рис. 16).

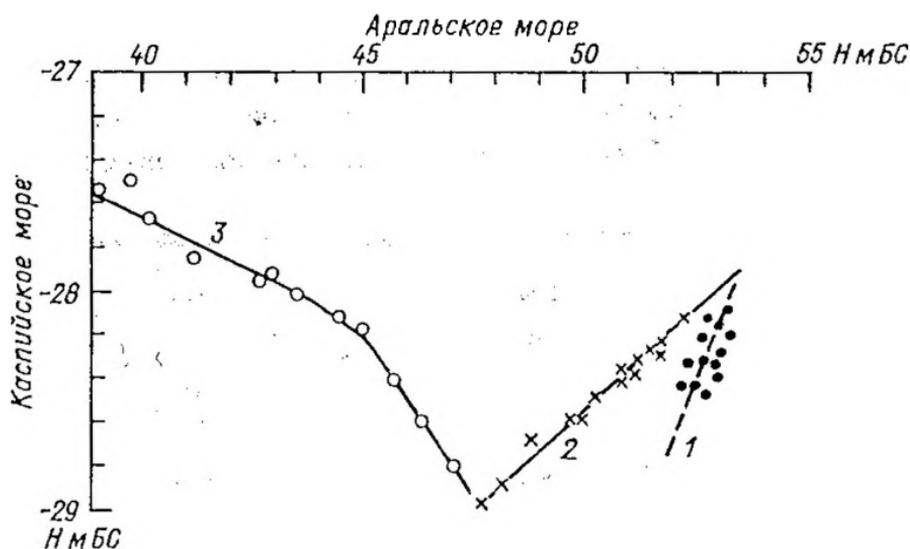


Рис. 16. Зависимость между уровнями воды Аральского и Каспийского морей. 1 — 1952—1953 и 1955—1965 гг., 2 — 1951, 1954, 1966—1977 гг., 3 — 1978—1989 гг.

Неоднозначность зависимостей на рис. 16 объясняется влиянием напряжений в земной коре. Кривые 1—2 относятся к периоду стабильных напряжений в Прикаспийском и Аральском регионах, кривая 3 характеризует современный период, когда отток из бассейна Каспия, вследствие сжатия котловины моря, прекратился, а из Амударьи и Сырдарьи увеличился из-за ослабления напряжений.

В табл. 10 приведены годы, относящиеся к различным кривым, и изменения объемов морей. В 1951—1977 гг. объем Аральского и

Годы, относящиеся к различным кривым на рис. 16 и изменения объемов Каспийского и Аральского морей

№ кривой	Годы	Изменение объемов, км <sup>3</sup>			
		Каспий		Арал	
		$\Sigma \Delta V$	$\Delta V_{\text{ср.}}$	$\Sigma \Delta V$	$\Delta V_{\text{ср.}}$
1	1952—1953 1955—1965	-52	-4,0	-46	-3,5
2	1951, 1954 1966—1977	-300	-21,4	-312	-22,3
3	1978—1989	496	41,3	-401	-33,4

Каспийского морей уменьшился на 358 и 352 км<sup>3</sup>. В 1978—1989 гг. уменьшение объема Аральского моря было практически равно по абсолютной величине увеличению объема Каспийского. В 1967—1977 гг. кривые уменьшения объемов совпадают (табл. 11, рис. 17).

Таблица 11

Изменение объема Аральского и Каспийского морей в 1967—1989 гг., км<sup>3</sup>

Год	Арал	Каспий
1967	-13	-60
1968	-36	-108
1969	-42	-64
1970	-59	-53
1971	-87	-83
1972	-118	-127
1973	-124	-149
1974	-170	-112
1975	-217	-224
1976	-251	-260
1977	-287	-274
1978	-312	-205
1979	-354	-88
1980	-381	-47
1981	-408	43
1982	-464	54
1983	-495	50
1984	-536	61
1985	-575	134
1986	-612	161
1987	-640	218
1988	-663	276
1989	-668	222

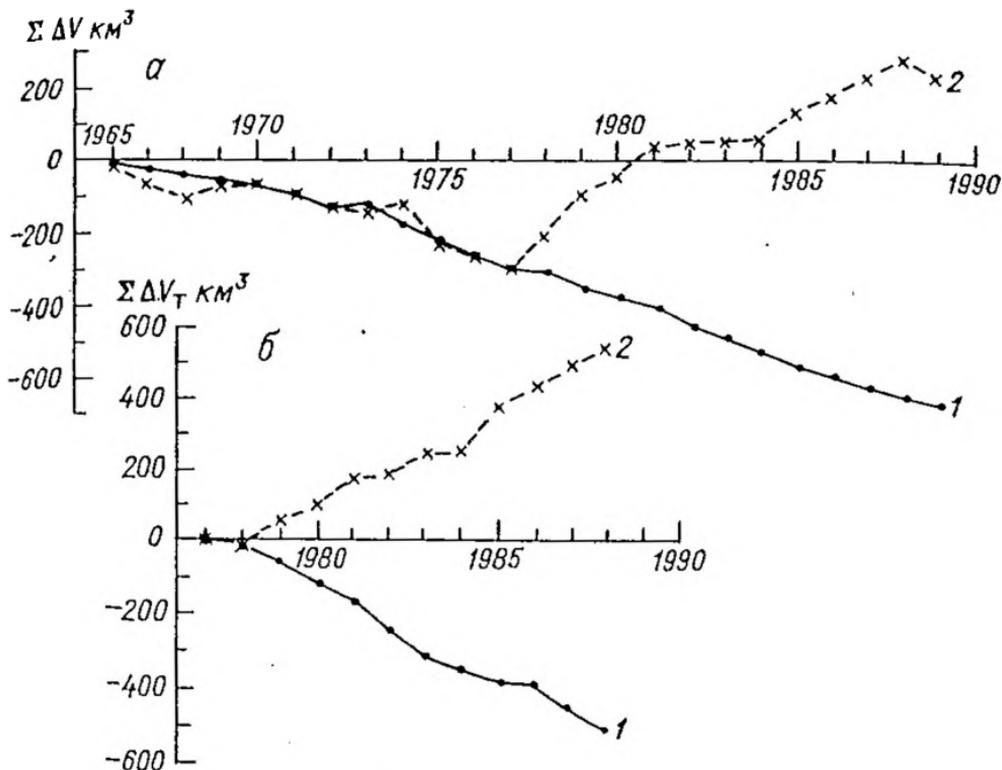


Рис. 17. Изменения объемов Аральского (1) и Каспийского (2) морей в 1967—1989 г. (а) и изменения объемов обусловленных оттоком воды из Амударьи (1) и притоком подземных вод в Каспий и впадающие в него реки (2) (б).

Можно предложить следующую гипотезу, объясняющую это совпадение. Вероятно, в историческом прошлом Аральское и Каспийское моря образовывали единый водоем, от которого в настоящее время унаследован общий подземный бассейн [36]. Объем видимого испарения с той части пра-моря, которая была расположена в Аральском регионе, был равен сумме объемов антропогенных потерь стока и видимого испарения в современный период (при аналогичных климатических условиях и, следовательно, при сохранении современного слоя видимого испарения). Покажем это применительно к 1967—1977 г., когда кривые изменения объемов совпадают. Составляющие водного баланса моря в этот период приведены в табл. 12.

Составляющие водного баланса Аральского моря в 1967—1977 гг., км<sup>3</sup>/год

Приток из зоны формирования стока		Потери стока				антропогенные	Видимое испарение		Изменение объема		Невязка
		отток воды			дельта		мм	км <sup>3</sup>	рассч.	факт.	
климат.	фактич.	зона форм.	бассейн	бассейн		бассейн	мм	км <sup>3</sup>	рассч.	факт.	Невязка
124,7	114,7	10,0	17,1	7,9	63,1	876	51,9	-25,3	-26,1	-0,8	

Восстановим "естественный" объем моря в 1967 г., увеличив его на сумму антропогенных потерь стока рек в 1900—1966 гг., расчет которой приведен в табл. 13.

Таблица 13

Расчет суммы антропогенных потерь стока Амударьи и Сырдарьи  
в 1900—1966 гг., км<sup>3</sup>/год

Период	Количество лет	$\bar{Q}_{\text{ап.}}$	$\sum Q_{\text{ап.}}$
1900—1931	32	(20)	(640)
1932—1950	19	32,5	617,5
1951—1966	16	43,5	696
Сумма			1953,5

Фактический объем моря в 1967 г. был равен 649 км<sup>3</sup>. Естественный объем будет равен:

$$V_{\text{ест.}} = 649 + 1953,5 = 2602,5 \text{ км}^3.$$

К концу периода объем моря уменьшился на 287 км<sup>3</sup> (26,1 км<sup>3</sup>/год). Следовательно, в 1977 г. объем равен 2315,5 км<sup>3</sup>, а средний — 2459 км<sup>3</sup>.

Кривые зависимости площадей и объемов от уровня построены до отметки  $H = 53$  м БС (Приложение VIII). Экстраполируя кривые зависимости  $F=f(H)$  и  $V=\varphi(H)$  при  $H = 48—53$  м БС в область больших объемов и площадей, получим следующие формулы:

$$\lg(F^*) = 0,577 + 0,002 H \quad (9)$$

$$V = 32,45 \cdot \exp(0,0658 H), \quad (10)$$

где  $F^* = \lg(F)$ .

Зависимость площади от объема имеет вид:

$$\lg(F^*) = 0,07 \lg V + 0,4713 \quad (11)$$

Среднему естественному объему  $\bar{V}_{\text{ест.}} = 2315,5 \text{ км}^3$  соответствует площадь  $\bar{F}_{\text{ест.}} = 129638 \text{ км}^2$ . При этой площади объем видимого

испарения будет равен  $114 \text{ км}^3$ , что совпадает с суммой антропогенных потерь и видимого испарения в 1967—1977 гг. ( $115 \text{ км}^3$ ).\*

Средний уровень моря  $\bar{H}_{\text{ест.}} = 65,7 \text{ м БС}$ . Вполне вероятно, что при таком высоком уровне действительно существовал единый с Каспием морской бассейн. Об этом свидетельствует существование древней береговой линии раннехвалынского Каспия, которая "на наиболее тектонически активных участках Кавказского побережья (Килязи, Кизил-Бурун) и на соляных куполах междуречья Волги и Урала... локально поднята до 55—60 м" [13].

Таким образом, современное Аральское море является своеобразной моделью некогда крупного водоема, значительный объем видимого испарения с поверхности которого скомпенсировался антропогенными изъятиями стока рек.

Естественно, выдвинутая гипотеза не претендует на безусловную достоверность, но может послужить основой для дальнейших исследований обнаруженных закономерностей.

Вернемся к кривым на рис. 17. Разнонаправленность изменений объемов морей в 1978—1989 гг. и равенство абсолютных значений их приращений позволяет предположить существование перетока фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря, обусловившего, в условиях сжатия котловины Каспия, подъем его уровня.

---

\* В естественных условиях уровень моря понизился бы не на 3,8 м, а всего лишь на 1,8 м.

# ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД АМУДАРЬИ В БАССЕЙН КАСПИЙСКОГО МОРЯ

При анализе влияния климата и тектонических процессов на подъем уровня Каспийского моря было обращено внимание на то, что кривая подъема, обусловленная разгрузкой подземных вод в море и реки, является зеркальным отображением кривой фильтрационных потерь стока в русле Амударьи (Ч. I, рис. 31). В этом же разделе было высказано сомнение в том, что равенство оттока из Амударьи притоку подземных вод в бассейне Каспийского моря обусловлено адекватным выжиманием и поглощением воды. По-видимому, все-таки существует разгрузка фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря.

В табл. 14 приведены сведения об оттоке из Амударьи и бассейна Каспийского моря в 1932—1977 гг. и о притоке подземных вод в Каспий в этот же период и в 1978—1988 гг. В оба периода приток подземных вод в бассейн Каспийского моря равен оттоку из Амударьи.

Рассмотрим приток подземных вод в Каспий и реки по годам в 1932—1974 гг. и сравним его с оттоком из Амударьи (табл. 15). Как видно из этой таблицы, со сдвигом на 1—2 года они практически совпадают. В 1974 г. началась перестройка напряжений вокруг котловины Каспийского моря. В 1978—1988 гг. в результате сжатия котловины моря и прекращения оттока из него, фильтрационные потери Амударьи обусловили подъем уровня моря.

Вероятно, разгрузка фильтрационных вод Амударьи происходит под ее древним руслом (Узбой), впадающим в Каспийское море в районе Челекенского полуострова.

Узбой берет свое начало примерно в 100 км от дельты Амударьи, проходит под Сарыкамышскими озерами и на широте  $\varphi = 42^\circ$  с. ш. и долготе  $\lambda = 57,3^\circ$  в. д. резко поворачивает на юг. Следующий резкий поворот, под углом  $90^\circ$ , русло делает на широте  $\varphi = 40^\circ$  с. ш. и направляется в сторону Каспийского моря, впадая в него между Красноводском и Челекеном. Такие резкие повороты русла обусловлены, вероятно, его расположением в крупных тектонических нарушениях, являющихся основными каналами разгрузки подземных вод. Так, например, в Узбое, в районе оз. Ясхан,

Сравнение тектонических составляющих водного баланса Каспийского моря с оттоком воды из Амударьи, км<sup>3</sup>/год

Период, годы	Отток воды							Приток подземных вод		
	Каспий и реки			Амударья				Каспий и реки		
	Каспий	реки	$\Sigma$	зона форм.	бассейн	дельта	$\Sigma$	Каспий	реки	$\Sigma$
1932—1977	14,5	15,6	30,1	6,9	11,5	5,9	24,3	12,6	12,8	25,4
1978—1988				33,4	11,0	2,5	46,9	23,4	23,5	46,9

Сравнение оттока из Амударьи с притоком подземных вод  
в бассейне Каспийского моря, км<sup>3</sup>/год

Амударья		Бассейн Каспия		Сдвиг $\tau$ , годы
годы	отток	годы	приток	
1932	55	1932	56	0
1933	20	1935	15	2
1935	14	1937	16	2
1942	36	1946	35	4
1943—46	65	1947	55	(2,5)
1947	24	1948	24	1
1948	25	1949	31	1
1953	31	1955	35	2
1955	15	1957	14	2
1962	23	1963	23	1
1963	29	1966	27	3
1967	18	1969	13	2
1969	47	1970	56	1
1970	24	1971	16	1
1972	65	1974	73	2
Сумма	491		489	
Сред.	33		33	

расположенного вблизи современного русла Амударьи, обнаружен крупный запас подземной воды, которая используется для водоснабжения Небит-Дага.

Самым убедительным доказательством разгрузки фильтрационных вод Амударьи под руслом Узбоя является практически функциональная зависимость среднегодовых уровней воды в Саракамышском озере от оттока из Амударьи (рис. 18). К сожалению, наблюдения на озере начаты только в 1976 г. и прекращены в 1984. Величина разгрузки невелика (0,8 км<sup>3</sup>/год), что не отражается на отмеченном выше равенстве оттока из Амударьи притоку подземных вод в бассейн Каспия.

В 1978—1989 гг. активизировались тектонические процессы в русле Узбоя вблизи его впадения в Каспийское море. Количество землетрясений с энергетическим классом  $K \geq 9,5$  коррелируется с оттоком из Амударьи, увеличиваясь с его ростом (табл. 16, рис. 19а). Верхняя кривая на рис. 19а соответствует среднему оттоку из Амударьи в предшествующем году 39 км<sup>3</sup>/год, нижняя —

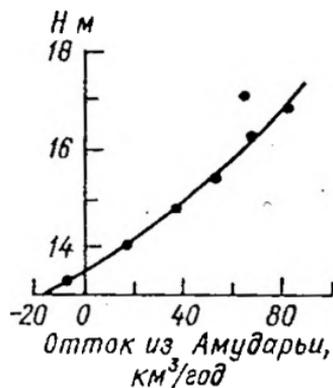


Рис. 18. Связь среднегодовых уровней Сарыкамышского озера над отметкой  $-20$  м БС с оттоком из Амударьи.

Таблица 16

Количество землетрясений в русле Узбоя с энергетическим классом  $K \geq 9,5$  и в Каспийском море с магнитудой  $M \geq 4,5$

Год	Узбой		Каспийское море	
	$N$	Отток из Амударьи км³/год	$N$	Приток подземных вод км³/год
1981	3	64	4	31
1982	5	87	2	-1
1983	3	63	7	73
1984	2	44	3	-9
1985	6	35	5	54
1986	5	21	6	30
1987	8	55	7	25
1988	6	44	5	46
1989	3	—	10	51

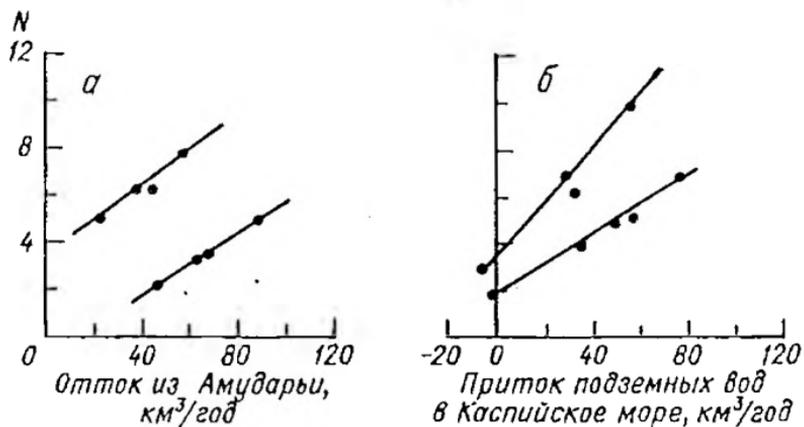


Рис. 19. Зависимость количества землетрясений с энергетическим классом  $K \geq 9,5$  в русле Узбоя от оттока из Амударьи (а) и количества землетрясений в Каспийском море с магнитудой  $M \geq 4,5$  от притока подземных вод в море (б).

67 км<sup>3</sup>/год. Таким образом, дефицит воды в недрах земли в предшествующем году способствует увеличению количества землетрясений в следующем.

На рис. 19б показана зависимость количества землетрясений в Каспийском море с магнитудой  $M \geq 4,5$  от притока подземных вод только в море (в 1982 и 1984 гг. — незначительный отток). Также, как в Узбое, количество землетрясений увеличивается с ростом объема подземных вод (табл. 15). Однако, в отличие от Узбоя, верхняя кривая на рис. 19б соответствует среднему расходу в предшествующем году 51 км<sup>3</sup>/год, а нижняя — 15 км<sup>3</sup>/год. Следовательно, в условиях сжатия, не дефицит, а избыток воды в породах в предшествующем году способствует активизации тектонической деятельности в следующем. Связь количества землетрясений в Каспийском море в период подъема уровня с притоком подземных вод свидетельствует об их возбужденном характере. Напомним, что и до подъема уровня перед землетрясениями, как правило, происходил приток подземных вод.

Таким образом, вода играет существенную роль в подготовке землетрясений.

О разгрузке подземных вод под руслом Узбоя свидетельствуют также отклонения от средних по акватории среднегодовых уров-

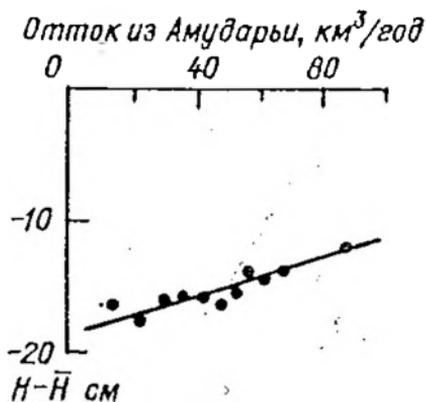


Рис. 20. Связь отклонений среднегодовых уровней воды в Краснодарске от средних по акватории моря с оттоком воды из Амударьи.

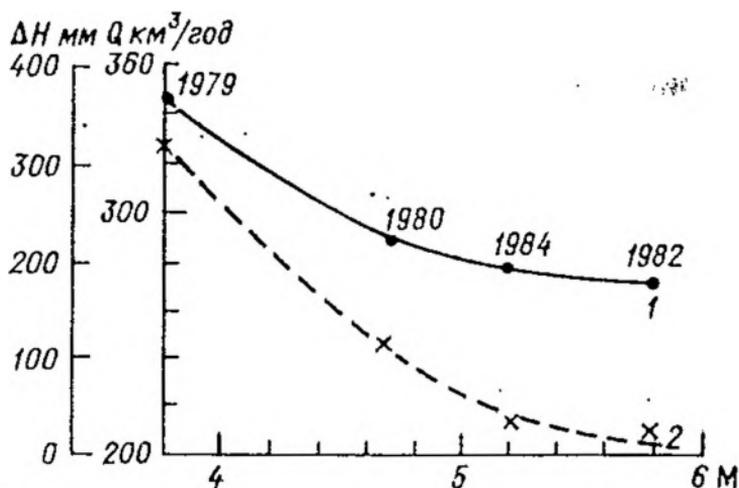


Рис. 21. Связь поверхностного притока в Каспийское море (1) и годовых приращений уровня воды (2) с параметрами неглубоких землетрясений в русле Амударьи.

ней воды в Красноводске, расположенном на Челекенском полуострове, вблизи падения Узбоя в море. Эти отклонения уменьшаются с увеличением фильтрационных расходов Амударьи (рис. 20). Следовательно, отток из Амударьи частично разгружается в прибрежной зоне. Основная же разгрузка происходит в наиболее ослабленных участках, на пересечении разломов и особенно в области центра кольцевых структур, где, как было показано в Ч. I, наблюдаются самые высокие уровни воды.

Существование разгрузки фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря подтверждается также зависимостью поверхностного притока в море и годовых приращений уровня в 1978—1988 гг. от параметров землетрясений в русле Амударьи (рис. 21).

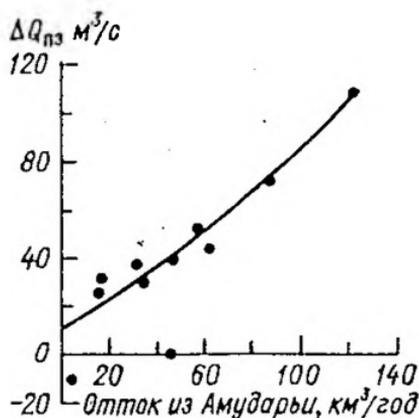


Рис. 22. Связь отклонений подземного питания р. Оки (Калуга) от нормы с оттоком из Амударьи в период подъема уровня Каспийского моря.

Вернемся к подземному питанию р. Оки (Калуга) в период подъема уровня моря. Отклонения подземного питания от нормы находятся в прямой зависимости от объема оттока из Амударьи (рис. 22). Впрочем, и до подъема уровня моря подземное питание Оки тесно коррелируется с параметрами землетрясений в русле Амударьи. От них зависят химический состав и температура воды и в других реках Прикаспийского региона (рис. 23—24).

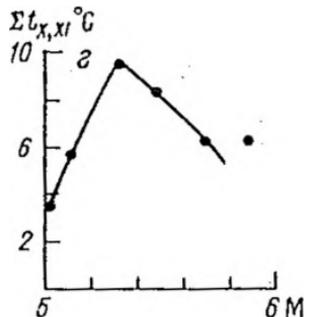
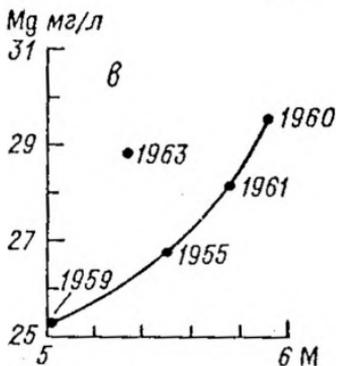
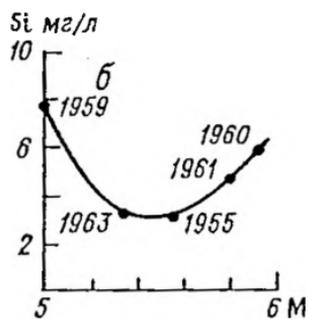
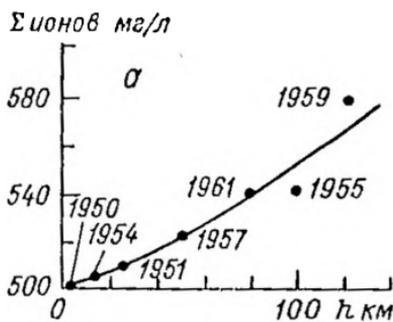


Рис. 23. Связь суммы ионов (а), концентрации кремния (б), магния (в) и сумм температуры воды в октябре—ноябре (г) в р. Оке (Калуга) с параметрами землетрясений в русле Амударьи в ближайшую к дате землетрясения межень.

Приведенные примеры свидетельствуют о взаимосвязи глубинных процессов в бассейнах Каспийского и Аральского морей, которая проявляется, в частности, в перетоке фильтрационных вод Амударьи в Каспийское море и далее, по многочисленным тектоническим нарушениям, заложенным в руслах, в реки.

Полученные в Ч. I зависимости промежутка времени между равными по величине и знаку тектоническими составляющими водного баланса Каспийского моря и поверхностного притока от магнитуды землетрясений характеризуют, по-видимому, связь скорости вертикальной фильтрации воды в тектонических нарушениях с напряжениями в земной коре, индикаторами которых являются землетрясения.

Для создания физической модели разгрузки фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря необходимо провести

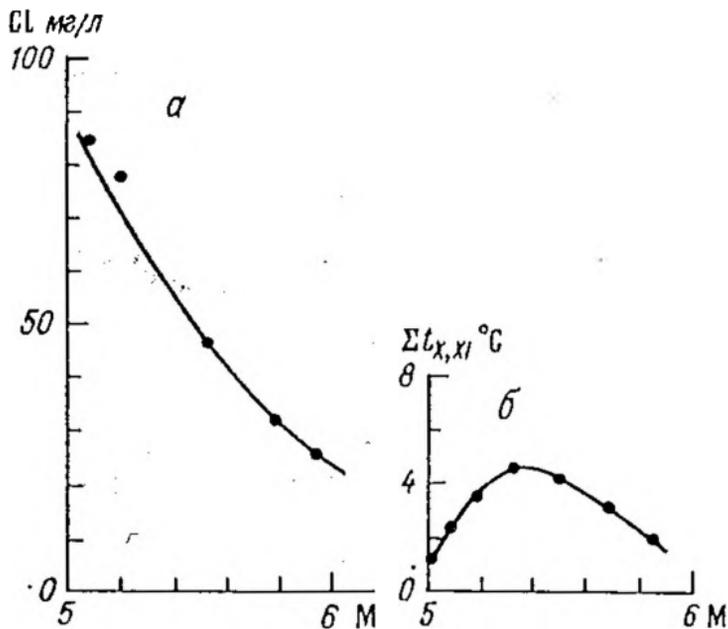


Рис. 24. Связь концентрации хлора (а) и сумм температуры воды в октябре—ноябре (б) в р. Кама (с. Волосническое) с параметрами землетрясений в русле Амударьи в ближайшую к дате землетрясения межень.

в русле Узбоя специальные гидрогеологические и геофизические исследования, включив их в программу геодинамического мониторинга.

## Глава 5. ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Этот раздел напрямую не связан с рассматриваемыми вопросами. Однако, в процессе анализа мы неоднократно приходили к выводу о значительном влиянии воды в недрах Земли на сейсмические процессы, которые, в свою очередь, определяли отток или приток подземных вод.

Так, например, значительные фильтрационные потери стока Амударьи в 1981—1988 гг. происходили на фоне увеличения осадков. Поэтому есть все основания считать, что осадки обусловили активизацию тектонической деятельности в русле реки. Предварительный анализ влияния осадков был сделан автором в [23]. Однако, желательно получить более обобщенные зависимости для различных геодинамических регионов.

Кроме того, в предыдущем разделе было обращено внимание на то, что дефицит подземной воды под руслом Узоя в предшествующем году обуславливает активизацию тектонической деятельности в следующем. В Каспийском море наблюдался обратный эффект.

Исследованиями влияния воды на подготовку землетрясений занимались многие зарубежные и отечественные исследователи. Обобщение их взглядов в доступной для понимания форме содержится в монографии И. Г. Кисина [39].

Считается, что в том случае, когда давление жидкости в земной коре приближается к величине геостатической нагрузки, равной весу вышележащих пород, происходит разрыв, разрядка напряжений. Однако, разрыв может наступить и при отсутствии этого равенства. Это вытекает из так называемого "эффекта Ребиндера". П. А. Ребиндер изучал прочностные свойства твердых тел при их контакте с жидкостями (адсорбционный эффект). Им и Е. Д. Щукиным показано, что при контакте различных твердых тел с растворами солей, водой и другими водными растворами резко снижается их прочность [40, 41]. Эффект Ребиндера, по мнению специалистов, может быть применен и к горным породам.

Опыты показали, что даже очень малые добавки воды заметно понижают прочность различных пород. Однако, как замечает И. Г. Кисин, "условия проявления адсорбционного эффекта... на процессы подготовки очага остаются почти неизученными".

В связи с этим представляет несомненный интерес установление эмпирических связей между атмосферными осадками, как основным источником поступления воды, и энергией, высвобождающейся после землетрясения.

В табл. 17 приведены сведения о параметрах землетрясений в котловине Каспийского моря, руслах Амударьи и Сырдарьи в конце года (сентябрь—декабрь) и модульных коэффициентах стокообразующих осадков на их водосборах в текущем и предшествующем годах.\* В этой таблице приведены также сведения о землетрясениях в начале года. В этом случае осадки текущего года приравниваются к осадкам предшествующего (землетрясения 1902, 1934 и 1963 гг. в Каспийском море).

Даже поверхностный анализ данных табл. 17 позволяет обнаружить, что при равенстве модульных коэффициентов в  $n$ -ом и  $(n-1)$  годах, независимо от глубины гипоцентра, наблюдаются одинаковые магнитуды. Так, в русле Амударьи в 1955 г. и котловине Каспия в 1924 г. при практически равных модульных коэффициентах осадков (в дальнейшем, для упрощения терминологии — просто "осадки") и глубинах гипоцентров 100 и 16 км магнитуды землетрясений равны 5,5. При одинаковых осадках в 1963 г. в русле Амударьи ( $h = 120$  км) и в 1946 г. в русле Сырдарьи ( $h = 20$  км) магнитуда была равна 5,3. Можно привести и другие примеры.

Это свидетельствует о том, что одинаковый по энергии разрыв может наступить и при неравенстве давления трещинно-поровых вод и вышележащих толщ горных пород.

Магнитуды землетрясений во всех столь разных регионах зависят от осадков в текущем и предшествующем годах. При постоянных или изменяющихся в незначительных пределах осадках в предшествующем году магнитуды увеличиваются с ростом осадков в текущем году (рис. 25). А при осадках в  $(n-1)$  году ниже нормы наблюдается лавинообразный рост магнитуд с увеличением осадков в текущем году. Это свидетельствует о применимости "эффекта Ребиндера" к горным породам.

Нисходящая ветвь кривой 1 на рис. 25 в отражает, по-видимому, механизм воздействия воды по дилатантно-диффузионной теории подготовки землетрясения. Согласно этой теории, основателями которой являются американские ученые М. Хубберт и В. Раби, при увеличении порового давления воды, пропорционального, в нашем случае количеству осадков, уменьшается трение на плоскости сдвига и соответственно величина напряжения, что приводит к снижению энергии землетрясения.

---

\*На водосборах Волги и Урала — годовые суммы осадков.

Сведения о землетрясениях в конце года и модульных коэффициентах стокообразующих осадков в текущем и предшествующем годах

Каспийское море					Русло Амударьи					Русло Сырдарьи				
Год	$M$	$h$ км	$K\chi_n$	$K\chi_{(n-1)}$	Год	$M$	$h$ км	$K\chi_n$	$K\chi_{(n-1)}$	Год	$M$	$h$ км	$K\chi_n$	$K\chi_{(n-1)}$
1902	5,6	18	1,09	0,95	1937	5,6	10	0,76	0,97	1934	4,4	10	1,15	0,82
1909	5,8	40	0,99	1,00	1940	5,8	15	0,91	1,10	1946	5,3	20	1,04	0,92
1920	4,0	15	0,70	1,06	1942	5,7	100	1,24	1,05	1954	5,4	15	1,76	1,23
1922	4,3	15	1,13	0,86	1943	5,0	5	0,98	1,24	1958	5,2	12	1,01	0,98
1924	5,5	16	0,87	1,04	1950	5,3	8	0,96	1,34	1963	4,6	8	1,06	0,91
1926	4,5	23	1,23	1,31	1952	3,6	6	1,12	0,73	1965	5,1	10	1,00	1,17
1929	4,7	15	0,86	1,13	1954	5,1	9	1,05	1,17	1969	4,7	15	1,92	0,88
1931	6,2	70	1,02	1,00	1955	5,5	100	0,79	1,05	1983	4,8	15	1,24	0,73
1934	5,2	50	0,89	1,01	1957	5,2	50	1,04	1,18	1985	5,5	18	0,94	0,55
1938	5,0	15	0,79	0,94	1963	5,3	120	1,05	0,88					
1943	5,0	20	0,92	0,95	1968	5,3	15	0,81	0,86					
1949	4,9	25	0,79	0,98	1969	6,1	113	1,81	0,81					
1952	4,7	32	1,14	0,83	1970	5,7	102	1,01	1,81					
1961	6,6	64	1,08	1,04	1979	3,8	4	1,14	1,03					
1963	6,2	55	1,05	1,12	1981	6,0	100	1,35	1,14					
1968	5,4	70	0,99	0,98	1982	5,8	20	1,44	1,25					
1973	5,1	70	1,16	0,75	1983	6,2	125	1,31	1,44					
1978	6,0	20	1,16	1,10	1984	5,2	5	1,00	0,99					
					1985	5,7	100	0,97	1,00					
					1986	5,9	110	0,46	0,97					
					1987	6,4	94	1,16	0,46					
					1988	5,5	85	1,11	1,16					

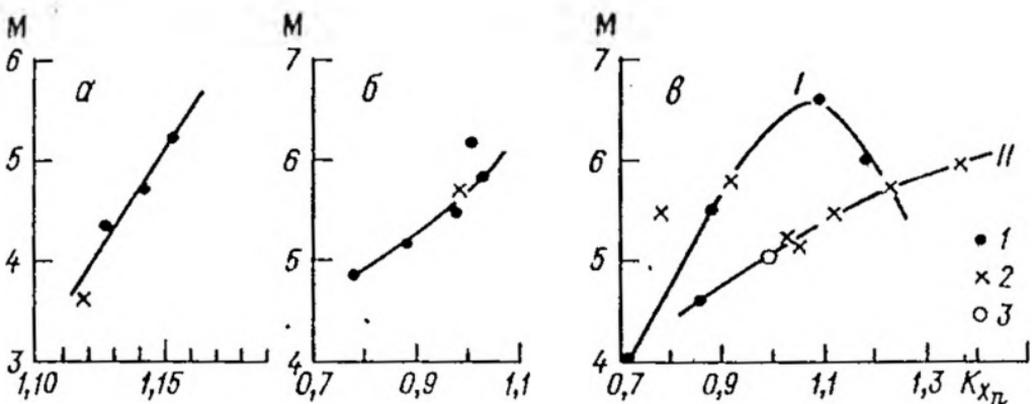


Рис. 25. Зависимость магнитуд землетрясений от модульного коэффициента осадков в текущем году при различных его значениях в предшествующем году  
 а —  $K_{X(n-1)} = 0,73-0,86$ ; б —  $K_{X(n-1)} = 0,98-1,01$ ; в —  $K_{X(n-1)} = 1,05-1,06$  (I)  
 и  $K_{X(n-1)} = 1,13-1,18$  (II). 1 — землетрясения в Каспийском море,  
 2 — землетрясения в русле Амударьи, 3 — землетрясения в русле Сырдарьи.

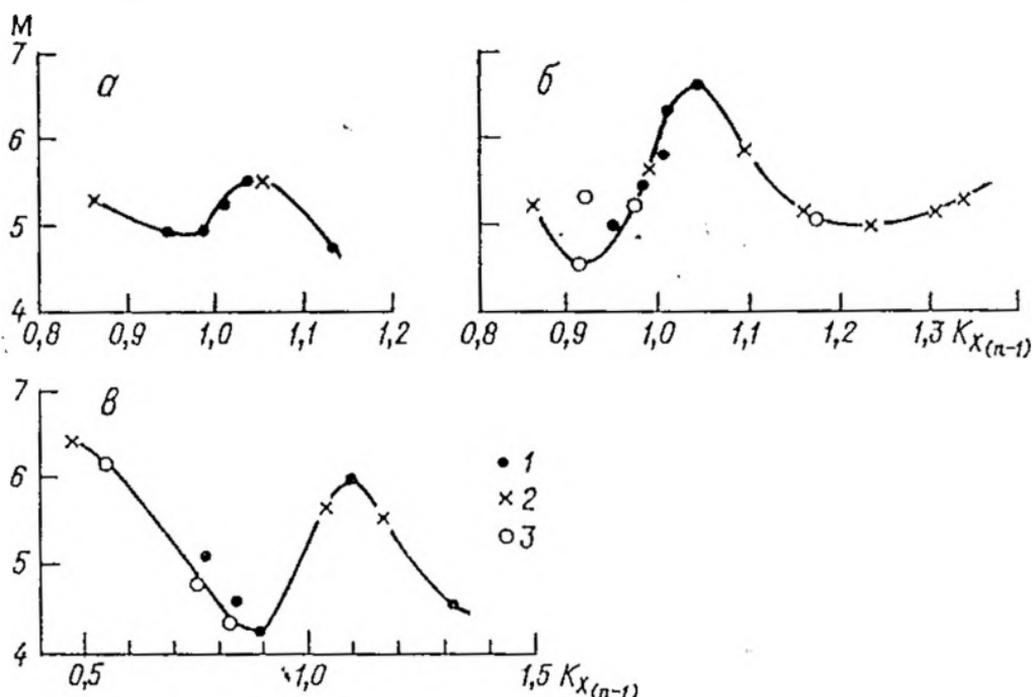


Рис. 26. Зависимость магнитуд землетрясений от модульного коэффициента осадков в предшествующем году при различных его значениях в текущем году  
 а —  $K_{X_n} = 0,79-0,87$ ; б —  $K_{X_n} = 0,91-1,08$ ; в —  $K_{X_n} = 1,11-1,24$ . 1, 2, 3 —  
 землетрясения в Каспийском море, русле Амударьи и русле Сырдарьи.

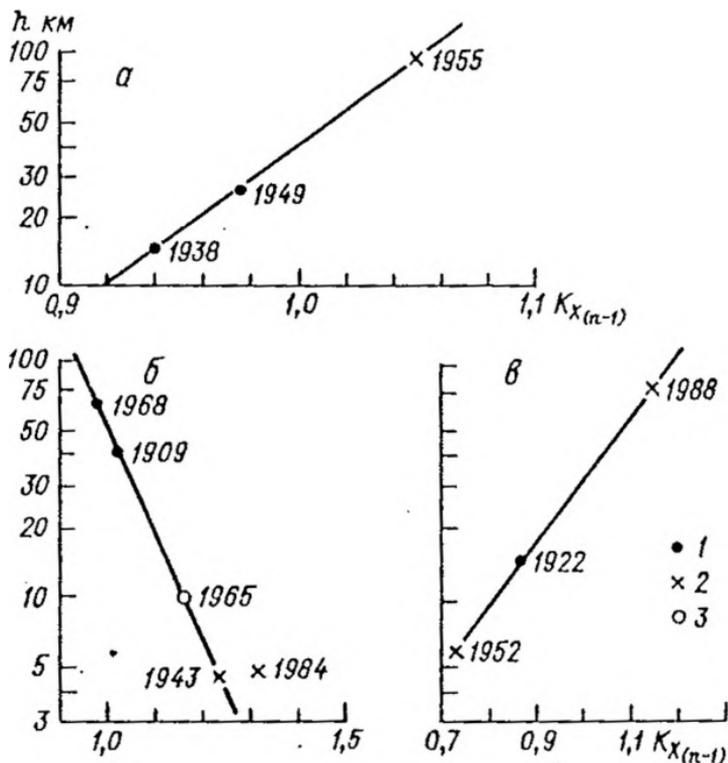


Рис. 27. Зависимость глубины гипоцентра землетрясений от модульного коэффициента осадков в предшествующем году при различных его значениях в текущем году. а —  $K_{x(n-1)} = 0,79$ ; б —  $K_{x(n-1)} = 0,98-1,00$ ; в —  $K_{x(n-1)} = 1,11-1,13$ . 1, 2, 3 — землетрясения в котловине Каспийского моря, русле Амударьи и русле Сырдарьи.

Нисходящие ветви кривых отчетливо прослеживаются на зависимость магнитуды от осадков в  $(n-1)$  году при различных интервалах их изменений в текущем году (рис. 26). Максимальные значения магнитуд на всех кривых соответствуют осадкам в предшествующем году выше нормы на 10 %. Однако максимум при осадках в текущем году выше нормы (рис. 26в) ниже максимума при норме осадков (рис. 26 б), что также подтверждает справедливость дилатантно-диффузионной теории.

Таким образом, подготовка землетрясений происходит одновременно и по дилатантно-диффузионной теории и по теории П. Ребиндера. Фактические данные, представленные на рис. 25—

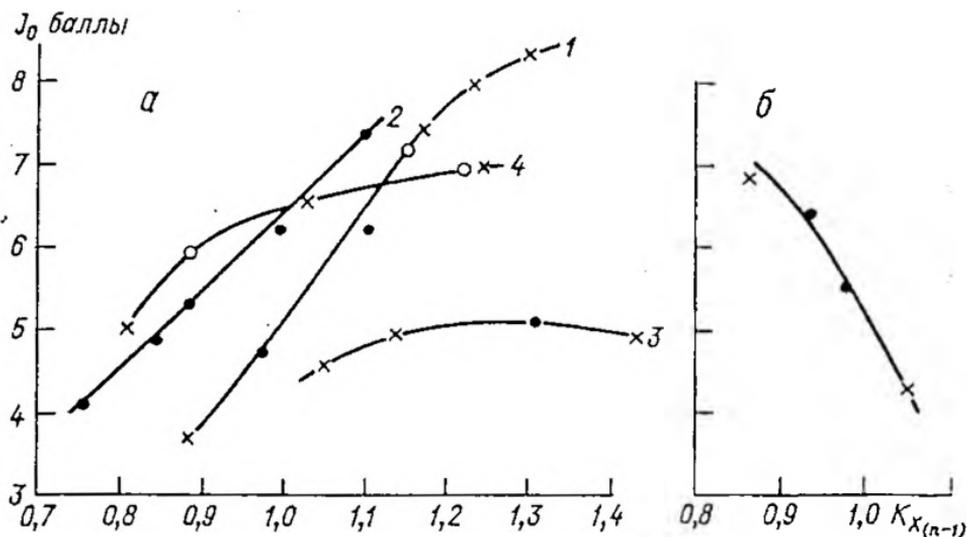


Рис. 28. Зависимость максимальной интенсивности землетрясений от модульного коэффициента осадков в предшествующем году при различных его значениях в текущем году. а: 1 —  $K_{X_n} = 0,98-1,00$  и  $K_{X_{(n-1)}} = 1,05$ ; 2 —  $K_{X_n} = 1,13-1,16$ ; 3 —  $K_{X_n} = 1,23-1,35$ ; 4 —  $K_{X_n} = 1,35$ . б —  $K_{X_n} = 0,79-0,81$ .

26, позволяют определить их вклад при различных сочетаниях осадков.

Глубина гипоцентра землетрясений крайне чувствительна к изменению осадков. На рис. 27 показаны некоторые экспоненциальные зависимости глубины гипоцентра от модульного коэффициента осадков в  $(n-1)$  году при фиксированных значениях  $K_{X_n}$ .

Все кривые пересекаются в точке с координатами:  $h = 40$  км,  $K_{X_{(n-1)}} = 1,00$ . Таким образом, при норме осадков в предшествующем году глубина гипоцентра, независимо от осадков в текущем году, будет равна 40 км.

На рис. 28 приведены зависимости максимально интенсивности землетрясений  $I_0$ , рассчитанной по формуле Шебалина, от осадков в  $(n-1)$  году при фиксированных значениях  $K_{X_n}$ .

Формула Шебалина имеет вид:

$$I_0 = 1,5M - 3,5 \lg h + 3 \quad (12)$$

Строго говоря, эта формула выведена для неглубоких землетрясений. Однако, значения  $I_0$ , рассчитанные для глубоких землетрясений, ложатся на кривые, построенные для неглубоких.

При  $K_{X_n} \geq 0,98$  максимальная интенсивность увеличивается с ростом осадков в предшествующем году (рис. 28 а). Причем, при  $K_{X_n} = 1,13 - 1,16$  максимальная интенсивность выше, чем при норме осадков (кривые 1, 2 на рис. 28). При  $K_{X_n} > 1,16$  рост интенсивности происходит медленно. Так при  $K_{X_n} = 1,23 - 1,35$  значения  $I_0$  равны 4—5 б (кривая 3 на рис. 28 а).

При осадках в текущем году существенно ниже нормы наблюдается обратная зависимость:  $I_0$  уменьшается с увеличением  $K_{X_{(n-1)}}$  (рис. 28 б).

Следует отметить, что при осадках ниже нормы даже незначительное их уменьшение (на 0,1—0,2 %) существенно влияет на величину  $I_0$ . Поэтому на рис. 28 представлены не все данные.

Приведенные зависимости, свидетельствуют о значительном влиянии осадков в подготовке землетрясений и могут быть использованы для построения теоретических моделей, ибо базируются на фактических данных по различным регионам.

## Заключение

Основным тормозом в развитии науки является традиционализм, приверженность общепринятым представлениям. В гидрологии это проявляется в твердой убежденности, что водный режим водоемов формируется только климатом и хозяйственной деятельностью человека. Несогласованность теоретических моделей фактическим данным, значительный разброс опытных точек на эмпирических зависимостях объясняются неточностью измерений, недостаточным объемом выборок и случайным характером природных процессов.

В настоящей работе на примере анализа причин колебаний уровней Каспийского и Аральского морей показана необходимость учета взаимодействия всех процессов, происходящих в газообразной, жидкой и твердой оболочках Земли. Сделано это пока на эмпирическом уровне, без должного теоретического обоснования и объяснения некоторых явлений, что вполне понятно, учитывая новизну подхода.

Падение уровня Каспийского моря в 1892—1977 гг. только на 27 % было обусловлено влиянием климата и оттока в Кара-Богаз-Гол, а на 73 % — оттоком воды из моря и русел рек, являющимся следствием ослабления напряжений в земной коре, индикаторами которых являются землетрясения.

В 1978—1994 гг. климат и отток в Кара-Богаз-Гол обусловили повышение уровня всего лишь на 0,12 м, что составляет 5 % от фактического подъема. Основной причиной столь продолжительного и интенсивного подъема является разгрузка фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря, которая существовала всегда в рассматриваемый период, но до подъема уровня частично компенсировалась оттоком воды из моря и впадающих в него рек. В результате современного сжатия котловины моря и прекращения оттока, фильтрационные воды Амударьи обусловили подъем уровня.

Равенство объемов подземного притока в море и реки ставит под сомнение тектоническую гипотезу подъема уровня Каспия, т. к. увеличение подземного питания рек нельзя объяснить возможным изменением конфигурации впадины моря.

Переток фильтрационных вод Амударьи в Каспийское море осуществляется, по-видимому, под ее древним руслом (Узбоем),

впадающим в море в районе Челекенского полуострова. Анализ особенностей уровня режима Каспия и закономерностей сильных землетрясений в его котловине показал, что наиболее вероятным местом разгрузки является область, примыкающая к центру кольцевых структур (Средний Каспий).

Разгрузка в реки происходит, с некоторым сдвигом по времени, по многочисленным тектоническим нарушениям, заложенным в их руслах.

Существование перетока фильтрационных вод Амударьи в бассейн Каспийского моря — не гипотеза и не фантазия автора, ибо не может быть случайным совпадение рассчитанных различными способами величин оттока воды из Амударьи с суммой невязок водного баланса Каспия и уравнения регрессии поверхностного притока с климатическими факторами. Равенство их было неожиданным даже для автора, долго сопротивляющейся идее перетока.

Не может быть случайной и связь уровней Сарыкамышских озер, расположенных в Узбое, с величинами оттока из Амударьи, а также зависимость от них количества сильных землетрясений в Узбое.

Химический состав и температура воды в межень в реках Прикаспийского региона, а также аномалии их подземного питания тесно коррелируются с параметрами землетрясений как в котловине Каспия, так и в русле Амударьи. Используя приведенные в Приложениях данные, можно убедиться в том, что приращения уровней Каспийского моря и невязки его водного баланса также коррелируются с параметрами землетрясений в русле Амударьи, что свидетельствует о связи сейсмических процессов в двух сопряженных регионах.

Начало падения уровня Аральского моря было обусловлено чисто климатическим фактором — уменьшением осадков в зоне формирования стока и сокращением притока воды. Рост антропогенных потерь наблюдался в 1968—1980 гг., в последующие годы они сократились из-за уменьшения притока воды с гор.

Самый интенсивный спад уровня моря (1981—1985 гг.) сопровождался громадным оттоком воды из русла Амударьи в зоне формирования стока, происходившим на фоне увеличения осадков в горах. В работе показана тесная связь параметров землетрясений в котловине Каспийского моря и руслах Амударьи и Сырдарьи с осадками в текущем и предшествующем годах. В результате этого анализа можно выстроить следующую цепочку

процессов: осадки → изменение напряжений в земной коре → землетрясения → отток поверхностных или приток подземных вод.

Любопытно, что на верхней ступеньке этой иерархической лестницы стоит все-таки климат. Только исходя из таких представлений, можно считать современный подъем уровня Каспия климатическим.

По приближенным расчетам автора, уровень Каспийского моря повысится, относительно 1994 г., еще на 1,1 м, достигнув в первой пятилетке будущего века отметки — 25,6 м БС. Вероятно, в этот же период начнется незначительное повышение уровня Аральского моря, при условии сохранения антропогенных потерь на уровне конца 80-х годов.

Многие явления, обнаруженные в работе, исследованы не полностью. Так, например, равенство уменьшения объемов Аральского и Каспийского морей в 1951—1977 гг. объяснено лишь частично, на уровне гипотезы. Неизученными являются и причины практического равенства падения уровня на многих озерах Средней Азии спаду уровня Аральского моря за счет фильтрационных потерь стока в бассейне Амударьи. Можно предполагать, что процесс ослабления напряжений в земной коре распространяется на восток. Но обоснованное объяснение этого удивительного феномена требует специального изучения, выходящего за рамки настоящего исследования.

Таким образом, для будущих исследователей, заинтересованных в разгадке тайн природы и способных нетрадиционно мыслить, представляется большое поле деятельности.

Существенным тормозом в продолжении исследований является то, что в настоящий период практически прекратились наблюдения на Аральском море, закрыты многие метеорологические станции и гидропосты. Это преступление перед природой и поколением будущих исследователей. Даже в Великую Отечественную войну не прекращались наблюдения. По незначительным пропускам в них можно было судить о времени прохождения боев.

Сейчас вкладываются громадные инвестиции в освоение новых нефтяных месторождений в Каспийском море и прокладку нефтепроводов. Между тем будущее Каспия а, следовательно, и отдачи нефтяных скважин и безопасности территорий неясны. Требуются совсем незначительные средства для восстановления наблюдательной сети и проведения научных исследований, включающих не только геодинамический мониторинг, который, безус-

ловно, необходим, но и специальные гидрологические и гидрохимические съемки на акватории моря, геофизические исследования в русле Узбоя и возобновление наблюдений на Арале и Сарыкамышских озерах.

И, наконец, необходимо тесное сотрудничество специалистов разного профиля, преодоление ведомственной разобщенности, синдрома исключительности, излишней амбициозности. Научный потенциал России и стран Каспийского и Аральского регионов позволяет решить многие задачи, связанные с будущим морей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. И. Кривошей. О связи падения уровня озера Иссык-Куль с сильными землетрясениями // В сб. "Сейсмичность Тянь-Шаня". — 1989. — С. 295—317.
2. Л. Н. Гладыш, Б. Д. Тагиров. Состояние и проблемы защиты Дагестанского побережья Каспия // Мелиорация и водное хозяйство. — 1994. — Т. 1. — С. 5—7.
3. В. П. Богданов. Защита побережья Каспийского моря на территории Калмыкии // Мелиорация и водное хозяйство. — 1994. — Т. 1. — С. 7—8.
4. Н. Н. Михеев. Критическая ситуация в Прикаспийском регионе требует решительных мер // Мелиорация и водное хозяйство. — 1994. — Т. 1. — С. 3—5.
5. А. В. Мещерская, Н. А. Александрова, М. П. Голод. Температурно-влажностный режим на водосборах Волги и Урала и оценка его влияния на изменения уровня Каспийского моря // Водн. ресурсы. — 1994. — Т. 21. — № 4. — С. 463—470.
6. М. Г. Хубларян. Феномен Каспия // Вестник РАН. — 1995. — Т. 65. — № 7. — С. 616—621.
7. Ф. С. Терзиев, В. Н. Бортник, Р. Е. Никонова. Колебания уровня и составляющих водного баланса Каспийского моря // Мелиорация и водное хозяйство. — 1994. — Т. 1. — С. 14—15.
8. А. В. Мещерская, Н. А. Александрова. Прогноз уровня Каспийского моря по метеорологическим данным. // Метеорология и гидрология. — 1993. — № 3. — С. 73—82.
9. Р. К. Клиге. Прогнозные оценки изменения уровня Каспия // Мелиорация и водное хозяйство. — 1994. — Т. 1. — С. 10—11.
10. Д. А. Лилиенберг. Новые подходы к оценке современной эндодинамики Каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Изв. РАН.: Сер. геогр. — 1993. — № 2. — С. 16—35.
11. В. Н. Сидоров, Ю. О. Кузьмин. Современные движения земной коры осадочных бассейнов // М.: НГИРГИ, 1989. — 183 с.
12. Д. А. Лилиенберг. Проблемы морфотектоники, геодинамики и геоэкологии Каспия на международных симпозиумах 1995 г. // Изв. РАН, Сер. геогр. — 1996. — № 6. — С. 140—146.
13. П. В. Федоров. Современная геология Каспийского моря // Вестник РАН. — 1995. — Т. 65. — № 7. — С. 622—625.
14. Д. А. Туголесов. О причинах трансгрессий и регрессий Каспийского моря // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1948. — № 6. — С. 131—140.
15. М. Л. Копп, И. Г. Щерба. Соотношение тектонического и климатического факторов изменения размеров и глубины кайнозойских бассейнов юга СССР // Докл. АН СССР. Сер. геол. — 1992. — Т. 332. — № 3. — С. 567—571.
16. Б. Н. Голубов. Особенности современной геодинамической активности Арало-Каспийского региона // Изв. РАН, Сер. геогр. — 1994. — № 6. — С. 96—100.

17. Б. Н. Голубов. Подъем уровня воды — результат эксплуатации недр // Вестник РАН. — 1995. — Т. 65. — № 7. — С. 626—630.
18. Б. Н. Голубов. Бессточен ли Каспий? // Бюлл. моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. — 1984. — Т. 59. — Вып. 3. — С. 110—123.
19. Н. А. Шило. Природа колебания уровня Каспия // Докл. АН СССР. — 1989. — Т. 305. — № 2. — С. 412—416.
20. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Взаимосвязь колебаний уровня Каспийского моря с напряжениями в земной коре // Вестн. АН СССР. — 1989. — № 6. — С. 83—90.
21. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Связь между аномалиями подземного питания рек Прикаспийского региона и Каспийского моря // Докл. АН СССР. 1991. — Т. 317. — № 1. — С. 177—180.
22. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Связь аномалий подземного питания р. Оки (г. Калуга) с напряжениями в земной коре // Докл. РАН. — 1993. — Т. 329. — С. 80—81.
23. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Причины уменьшения стока Амударьи из зоны формирования в 1961—1985 гг. // Докл. АН СССР. — 1994. — Т. 324, № 2. — С. 487—491.
24. Ю. В. Гергиевский. Водный баланс Каспийского моря по данным наблюдений // Гидрол. расчеты и прогнозы. Л.: изд. ЛПИ, 1982. — Вып. 79. — С. 7—14.
25. А. В. Мещерская, М. П. Голод, В. М. Мирвис, И. Г. Белянкина. Метод долгосрочного прогноза изменений уровня Каспийского моря с годовой заблаговременностью по метеорологическим данным // Метеорология и гидрология. — 1997. — № 9. — С. 69—82.
26. Е. Г. Архипова, М. С. Потайчук, Н. А. Скриптунов. Современный водный баланс Каспийского моря // Тр. ГОИН. — 1970. — Вып. 101. — С. 34—73.
27. С. С. Байдин. Каспийское море (гидрология и гидрохимия) // М., Наука, 1986. — С. 260.
28. Г. А. Алексеев. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей // Л.: Гидрометеониздат, 1971. — С. 363.
29. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Некоторые закономерности проявления сильных землетрясений в котловине Каспийского моря // Вулканология и сейсмология. — 1996. — № 1. — С. 71—78.
30. Б. Н. Голубов. Положение магнитоактивных тел в земной коре Северного и Среднего Каспия // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы, отд. геол. — 1977. — № 3. — С. 126—130.
31. Э. Ш. Шихалибейли, А. Г. Гасанов и др. К вопросу о строении и формировании впадины Южного Каспия (по новым данным) // Очерки по геологии Аз-на Баку: Азербейшр. — 1984. — С. 61—84.
32. И. Б. Вольфцун, В. В. Сумарокова, К. В. Цыценко. Об изменении структуры затрат речного стока в орошаемой зоне бассейнов Амударьи и Сырдарьи // Водные ресурсы. — 1988. — № 3. — С. 117—123.

33. Провести исследования и составить современный и на перспективу до 2020 г. водохозяйственный баланс бассейна Аральского моря // Научно-технический отчет Государственного Гидрологического института по теме III.23а.04. Архив ГГИ, № 44128.

34. Н. А. Шило, М. И. Кривошей. Почему исчезает Аральское море // Отечественная геология. — 1992. — № 12. — С. 83—88.

35. И. Б. Вольфцун, В. В. Сумарокова. Динамика антропогенных и естественных потерь стока Амударьи и Сырдарьи за многолетний период // Метеорология и гидрология. — 1985. — № 2. — С. 98—104.

36. Ю. Н. Годин. Глубинное строение Туркмении по геофизическим данным // М.: Недра, 1969. — 252 с.

37. В. П. Львов, З. А. Крылова, Р. В. Смирнов. Водный баланс Аральского моря // Тр. ГОИН, 1970. — Вып. 101. — С. 5—33.

38. В. Н. Бортник и др. Современное состояние и возможное будущее Аральского моря // Изв. АН СССР. — Сер. геогр. — 1991. — № 4. — С. 62—68.

39. И. Г. Киссин. Землетрясения и подземные воды // М.: Наука, 1982. — 174 с.

40. П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // В кн.: Успехи физических наук. — 1972. — Т. 108. — Вып. 1. — С. 3—42.

41. П. А. Ребиндер. Физико-химическая механика как новая область знания // Вестн. АН СССР. — 1957. — № 10. — С. 32—42.

## Водный баланс Каспийского моря, мм

Годы	$H$ м, БС	$Q_{пов.}$	$X$	$E$	$Q_{обг}$	$\Delta H$	$\delta_{в.б.}$	$Q_{клим.}$	$\delta_r$	$\Delta H_{клим.} - Q_{обг}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1892	-25,73	785	252	1000	46	-40	-31	597	188	-197
1893	-25,76	828	234	908	48	0	-106	700	128	-22
1894	-25,75	859	297	919	45	-70	-262	810	49	143
1895	-25,68	894	304	977	62	300	141	807	87	72
1896	-25,46	678	286	968	51	60	115	822	-144	89
1897	-25,50	625	324	988	43	-120	-38	708	-83	1
1898	-25,61	568	313	932	41	-150	-58	672	-104	12
1899	-25,57	940	230	1028	52	90	0	788	152	-62
1900	-25,64	760	276	942	48	-10	-56	828	-68	114
1901	-25,68	686	228	1063	41	-150	40	722	-36	-154
1902	-25,79	815	310	933	51	60	-81	761	54	87
1903	-25,65	798	262	946	51	70	7	752	46	17
1904	-25,68	644	236	878	42	-130	-90	735	-91	51
1905	-25,71	767	239	1081	51	70	196	786	-19	-107
1906	-25,72	723	261	977	46	-40	-1	822	-99	60
1907	-25,73	615	262	968	44	-100	35	798	-183	48
1908	-25,79	778	274	899	52	90	-11	800	-22	123
1909	-25,75	738	193	1043	45	-70	87	732	6	-163
1910	-25,96	525	205	1025	32	-340	-13	719	-194	-133
1911	-26,16	665	292	968	47	-20	38	683	-18	-40
1912	-26,18	736	210	1015	44	-70	43	761	-25	-88
1913	-26,27	735	218	896	46	-50	-61	918	-183	194
1914	-26,15	850	296	917	58	220	49	882	-32	203
1915	-25,95	900	263	942	55	150	-16	899	1	165
1916	-25,86	912	228	964	55	150	29	957	-45	166
1917	-25,82	816	156	1059	40	-170	-43	772	44	-171
1918	-25,99	744	198	888	46	-60	-68	730	14	-6
1919	-26,01	749	304	921	48	0	-84	768	-19	103
1920	-26,14	613	197	1096	37	-240	83	646	-33	-290
1921	-26,29	519	299	977	36	-170	25	517	2	-197

Годы	Н м, БС	Q <sub>пов.</sub>	X	E	Q <sub>обг</sub>	ΔН	δ <sub>в.б.</sub>	Q <sub>клим.</sub>	δ <sub>p.</sub>	ΔН <sub>клим.</sub> - - Q <sub>обг</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1922	-26,39	748	228	899	48	-30	-59	720	28	1
1923	-26,45	861	178	912	55	-30	-102	818	43	29
1924	-26,46	742	275	939	56	-70	-92	701	41	-19
1925	-26,57	748	190	1035	41	-70	68	778	-30	-108
1926	-26,48	1111	220	878	43	270	-140	1008	103	307
1927	-26,28	942	242	949	56	100	-79	878	64	115
1928	-26,11	1009	277	899	60	260	-67	859	150	177
1929	-25,94	866	234	908	67	0	-125	881	-15	140
1930	-26,06	646	212	917	53	-170	-58	665	-19	-93
1931	-26,19	719	216	1081	41	-80	107	732	-13	-174
1932	-26,11	793	258	971	52	100	72	725	68	-40
1933	-26,14	612	229	1009	45	-130	83	739	-127	-86
1934	-26,33	591	194	1028	33	-230	46	699	-108	-168
1935	-26,55	606	214	1077	29	-180	106	672	-66	-220
1936	-26,78	558	197	1077	27	-220	129	686	-128	-221
1937	-27,00	533	200	1121	25	-290	123	634	-101	-312
1938	-27,31	537	230	884	22	-320	-181	594	-57	-82
1939	-27,53	588	204	897	16	-230	-109	593	-5	-116
1940	-27,79	652	246	942	18	-120	-58	665	-13	-49
1941	-27,85	806	240	878	18	10	-140	831	-25	175
1942	-27,78	858	224	890	25	90	-77	838	20	147
1943	-27,75	747	259	968	29	-40	-49	674	73	-64
1944	-27,78	796	196	1222	28	-130	128	676	120	-378
1945	-27,96	675	228	968	27	-80	12	740	-65	-27
1946	-27,91	885	246	998	28	80	-25	769	116	-11
1947	-27,78	976	172	942	35	150	-21	811	165	6
1948	-27,76	889	223	1111	38	-80	-43	783	106	-143
1949	-27,83	697	209	1019	38	-120	31	648	49	-200
1950	-28,02	724	202	992	36	-180	-78	637	87	-189
1951	-28,17	700	283	951	33	-70	-69	665	35	-36
1952	-28,16	756	198	935	33	-80	-66	697	59	-73
1953	-28,27	781	270	949	30	-20	-92	825	-44	116

Годы	Н м, БС	Q <sub>пов.</sub>	X	E	Q <sub>хбг</sub>	ΔH	δв.б.	Q <sub>клим.</sub>	δр.	ΔH <sub>клим.</sub> - - Q <sub>хбг</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1954	-28,28	651	186	918	27	-120	-12	741	-90	-18
1955	-28,36	803	222	993	24	20	12	722	81	-73
1956	-28,41	653	246	976	24	-40	61	815	-162	61
1957	-28,34	863	237	887	24	140	-49	778	85	104
1958	-28,21	877	270	957	26	60	-104	777	100	64
1959	-28,13	701	266	986	29	-30	18	785	-84	36
1960	-28,23	649	217	929	27	-120	-30	706	-57	-33
1961	-28,42	718	260	1072	24	-130	-12	780	-62	-56
1962	-28,51	713	230	1053	24	-100	34	816	-103	-31
1963	-28,44	860	310	987	24	170	11	808	52	107
1964	-28,37	726	186	897	25	-30	-20	784	-58	48
1965	-28,44	704	253	950	27	20	40	779	-75	55
1966	-28,27	888	320	974	28	120	-86	730	158	48
1967	-28,34	588	250	1015	27	-160	44	704	-116	-88
1968	-28,47	708	218	903	24	-130	-129	728	-20	19
1969	-28,49	741	310	943	24	120	36	741	0	84
1970	-28,35	826	193	1035	(30)	30	76	750	76	-122
1971	-28,43	707	168	1028	(26)	-80	99	763	-56	-123
1972	-28,50	659	232	873	(24)	-120	-114	609	50	-56
1973	-28,60	597	306	978	(22)	-60	37	674	-77	-20
1974	-28,59	822	232	1081	(22)	100	149	768	54	-103
1975	-28,69	514	203	861	(21)	-310	-145	551	-37	-128
1976	-28,90	627	250	894	(15)	-100	-68	633	-6	-26
1977	-29,00	617	240	1059	(13)	-40	175	770	-153	-62
1978	-28,95	924	288	912	(13)	190	-97	866	58	229
1979	-28,62	950	266	926	(22)	320	52	805	145	123
1980	-28,48	779	248	977	(13)	110	73	768	11	26
1981	-28,21	890	260	994	0	240	84	754	136	20
1982	-28,16	724	220	912	0	30	-2	713	11	21
1983	-28,09	742	172	1117	0	-10	193	752	-10	-193
1984	-28,04	743	282	973	0	30	-22	731	12	40
1985	-27,95	918	145	1009	5	190	141	741	177	-128

Годы	$H$ м, БС	$Q_{\text{пов.}}$	$X$	$E$	$Q_{\text{обг}}$	$\Delta H$	$\delta_{\text{в.б.}}$	$Q_{\text{клим.}}$	$\delta_{\text{р.}}$	$\Delta H_{\text{клим.}} -$ $- Q_{\text{обг}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1986	-27,86	855	190	1051	4	70	80	785	70	-80
1987	-27,71	849	229	989	4	150	65	761	88	-3
1988	-27,56	743	285	992	4	150	118	753	-10	42
1989	-27,70	695	182	1142	4	-140	129	709	-14	-255
1990	-27,39	958	230	981	4	310	107	842	116	87
1991	-27,09	921	270	1017	4	300	130	828	93	77
1992	-27,03	724	238	889	32	140	99	713	11	30
1993	-26,93	867	232	882	81	121	-15	804	63	73
1994	-26,75	976	227	900	106	(190)	-7	794	182	15

Примечание: 1.  $Q_{\text{клим.}}$  — климатический поверхностный приток рассчитанный по формуле (3); 2.  $\Delta H_{\text{клим.}} = Q_{\text{клим.}} + X - E$ .

Зависимость площадей и объемов Каспийского моря  
от уровня над отметкой -28 м БС

$H$ , м	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>
0	376345	78081
-1	356178	77697
-2	344080	77328
-3	330411	76971
-4	315672	76627
-5	305158	76296
-6	295747	75980
-7	288298	75674
-8	281552	75373
-9	276801	75077
-10	272370	74784
-15	251886	73704
-20	236998	72247
-50	182636	65985
-100	142619	58004
-200	117613	45119
-300	102770	34130
-400	89573	24537
-500	75182	16334
-600	60838	9596
-700	42877	4332
-800	21674	1255
-900	3589	130
-1000	56	1
-1025	0	0

# Приложение III

## Сведения о сильных землетрясениях в котловине Каспийского моря

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, <i>M</i>
	$\varphi^{\circ}$ с. ш.	$\lambda^{\circ}$ в. д.		
20.05.1882	(38,8)	(49,0)	(15)	4,4
26.06.1889	42,5	48,0	42	5,9
31.07.1889	39,0	49,0	20	4,5
09.08.1892	(38,8)	(49,0)	(15)	4,6
24.11.1892	(39,9)	(53,1)	(15)	5,7
06.12.1894	(40,0)	(53,2)	(15)	5,1
08.07.1895	39,5	53,7	60	8,2
21.02.1902	41,8	48,8	18	5,6
05.07.1903	41,8	48,7	40	5,5
20.03.1906	(38,9)	(49,0)	(15)	(4,4)
21.08.1907	(42,7)	(48,3)	43	5,1
27.05.1908	42,2	48,1	19	4,9
30.10.1909	42,4	48,0	40	5,8
06.07.1910	40,2	50,0	7	4,4
07.06.1911	41,0	50,5	46	6,4
25.03.1913	41,8	48,3	70	5,7
12.07.1915	(40,2)	(52,9)	(15)	(5,0)
16.07.1915	(40,2)	(52,5)	(12)	(4,4)
02.06.1916	40,5	52,3	15	4,2
03.10.1920	39,7	49,6	15	4,0
22.11.1922	40,2	50,0	15	4,3
27.09.1924	37,0	53,0	16	5,5
27.09.1926	41,5	48,8	23	4,5
28.08.1929	38,7	49,0	10	4,2
24.12.1929	41,0	49,5	15	4,7
04.06.1930	39,8	49,6	10	4,2
19.06.1931	43,0	49,8	(40)	4,5
25.07.1931	41,4	49,5	16	4,8
25.08.1931	42,1	48,3	10	4,3
27.08.1931	41,9	48,7	20	4,3
20.10.1931	42,5	50,8	70	6,2
09.04.1933	43,1	48,5	40	4,5
17.01.1934	42,3	51,0	50	5,2
05.03.1935	37,0	53,0	(13)	5,7

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра; км	Магнитуда, M
	φ° с. ш.	λ° в. д.		
09.04.1935	42,1	48,8	90	6,3
06.09.1938	41,0	50,0	(15)	5,0
18.03.1942	37,0	53,5	(18)	4,1
03.04.1942	(39,8)	(53,4)	(18)	(5,3)
19.11.1943	43,4	48,5	(20)	5,0
05.03.1946	39,6	49,3	11	4,8
30.10.1949	41,0	49,2	(25)	4,9
28.01.1950	41,9	49,1	(30)	4,6
13.04.1950	41,5	51,4	30	5,0
16.01.1951	39,1	49,6	(25)	4,9
08.09.1952	41,8	49,2	—	4,7
22.08.1954	42,7	48,2	(20)	4,6
21.05.1955	40,0	52,0	(12)	4,5
06.05.1957	37,1	51,7	14	5,2
19.08.1957	38,0	49,5	(15)	4,1
06.05.1958	43,1	47,8	5	5,8
31.07.1959	38,8	49,4	(20)	4,8
21.03.1960	42,9	47,8	8	4,6
18.09.1961	41,1	50,2	64	6,6
27.01.1963	41,1	49,8	55	6,2
05.10.1968	41,7	49,6	70	5,4
14.12.1973	41,9	49,0	70	5,1
20.06.1975	42,7	48,0	10	4,4
07.02.1976	40,4	51,0	—	4,7
24.09.1976	42,0	50,3	—	4,9
04.11.1978	37,6	49,0	20	6,0
22.07.1980	37,5	50,4	—	5,1
22.01.1981	39,8	52,2	—	4,4
07.04.1981	41,4	52,3	—	4,6
21.07.1981	39,5	53,5	—	4,5
04.08.1981	38,2	49,5	30	5,4
15.08.1981	39,6	53,2	—	4,4
28.09.1981	39,4	53,3	—	4,4
16.11.1981	40,0	53,4	—	4,6
11.02.1982	40,1	52,5	—	4,3
28.03.1982	41,0	52,4	—	4,4

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, M
	φ° с. ш.	λ° в. д.		
19.07.1982	39,6	52,3	—	4,5
21.07.1982	40,8	52,5	—	4,3
21.08.1982	40,0	52,0	—	5,0
23.02.1983	40,5	50,1	10	5,0
06.03.1983	37,5	53,8	19	4,3
12.04.1983	40,6	50,0	43	5,2
30.04.1983	39,3	52,7	—	4,5
12.05.1983	39,5	53,0	—	4,8
24.05.1983	40,8	52,3	15	4,9
03.06.1983	41,0	51,0	—	4,8
20.08.1983	40,6	52,3	40	5,8
07.02.1984	40,4	51,9	5	4,5
22.02.1984	39,0	53,6	—	4,9
25.04.1984	40,6	51,2	20	4,9
25.04.1984	40,6	51,1	10	4,3
30.08.1984	40,0	51,0	10	4,4
07.01.1985	37,0	51,7	42	5,0
27.03.1985	39,0	53,7	12	5,1
23.04.1985	39,9	51,7	28	4,8
16.10.1985	40,5	50,6	40	5,2
05.12.1985	41,4	49,4	5	4,3
11.12.1985	40,3	52,7	6	4,6
22.01.1986	41,1	49,8	20	4,1
09.02.1986	40,8	49,7	20	4,5
25.02.1986	41,8	48,8	20	4,8
06.03.1986	40,3	51,6	40	6,8
16.04.1986	40,4	52,4	3	4,4
05.07.1986	40,9	52,6	2	4,0
18.08.1986	42,1	50,1	—	4,5
24.08.1986	40,6	50,2	20	4,3
05.10.1986	39,0	49,0	—	5,2
14.10.1986	41,7	49,1	12	4,2
18.11.1986	40,5	52,0	21	5,0
12.01.1987	39,1	53,7	15	4,2
01.03.1987	41,4	49,4	25	5,0
03.06.1987	39,0	53,9	41	4,8

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, M
	$\varphi^{\circ}$ с. ш.	$\lambda^{\circ}$ в. д.		
12.08.1987	40,5	51,7	—	4,5
22.10.1987	40,1	50,3	—	4,5
05.11.1987	40,1	50,2	32	4,9
07.11.1987	40,1	50,1	4	5,0
14.12.1987	41,4	50,3	17	4,3
17.12.1987	40,7	52,2	7	4,3
19.12.1987	41,0	51,9	19	5,4
08.01.1988	40,5	52,0	12	4,4
14.01.1988	40,8	49,6	17	4,5
21.06.1988	39,6	51,4	32	4,7
21.06.1988	40,7	51,5	40	4,6
09.08.1988	40,8	52,3	13	4,0
14.09.1988	39,6	51,6	35	4,5
15.10.1988	42,2	49,5	53	5,3
11.12.1988	39,6	52,4	15	4,0
12.12.1988	40,8	52,4	5	4,3
23.12.1988	40,8	52,3	8	4,0
12.01.1989	42,8	48,0	7	4,8
13.01.1989	42,8	47,9	12	4,5
15.01.1989	42,9	48,0	12	4,5
01.02.1989	41,0	49,7	28	4,7
06.06.1989	42,6	48,2	8	4,9
29.06.1989	39,7	49,9	—	4,6
22.08.1989	41,1	50,7	14	4,5
24.08.1989	41,6	49,1	33	5,6
16.09.1989	40,2	51,6	49	6,3
22.11.1989	40,5	51,7	38	4,7

Примечание: в таблице не приведены афтершоки землетрясений 06.03.1986 г. и 16.09.1989 г.

## Сведения о землетрясениях в русле Амударьи

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, <i>M</i>
	φ° с. ш.	λ° в. д.		
17.05.1896	37,0	68,0	15	5,2
27.09.1897	38,0	70,0	10	4,3
23.10.1907	37,8	65,8	30	6,1
09.09.1913	37,0	69,0	18	5,0
30.09.1917	37,3	71,5	15	5,0
06.12.1922	37,4	71,3	230	7,2
20.06.1925	36,5	71,5	200	6,6
30.08.1925	38,0	69,5	10	5,4
01.02.1929	36,7	71,3	200	7,2
23.09.1930	37,6	71,6	120	5,8
27.05.1933	37,0	70,5	230	5,8
31.08.1934	38,9	70,9	8	6,5
18.09.1934	38,4	71,2	11	5,4
15.11.1934	36,6	71,4	15	5,0
03.04.1935	36,7	70,9	160	6,1
12.05.1935	37,5	71,2	100	6,0
16.05.1935	37,5	69,2	52	5,5
28.08.1935	36,7	71,5	150	6,0
08.10.1935	38,8	70,8	8	6,1
07.12.1935	38,2	69,1	3	3,9
20.08.1936	36,7	71,2	110*	5,9
13.11.1937	38,0	69,5	10	5,6
19.06.1939	37,3	71,4	17*	5,3
17.07.1940	36,8	71,5	16*	5,7
05.10.1940	37,2	69,0	15	5,8
20.04.1941	39,2	70,5	8	6,4
16.11.1942	36,5	71,5	100	5,7
02.11.1943	38,7	70,6	5	5,0*
29.04.1944	36,4	71,7	200	5,2
30.01.1947	37,0	71,5	200	5,6
08.07.1949	39,2	70,8	28	5,1
10.07.1949	39,2	70,8	16	7,4
10.07.1949	39,2	71,1	19	6,2
17.11.1950	38,8	70,5	8	5,3

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, M
	φ° с. ш.	λ° в. д.		
12.05.1951	39,6	71,2	25	5,4
22.10.1952	37,9	69,9	6	3,6
13.10.1954	37,4	69,3	9*	5,1
11.12.1955	37,3	71,3	100	5,5
05.10.1957	37,6	69,4	50	5,2
04.08.1958	36,9	71,5	120	5,5
13.08.1958	37,2	66,5	20	5,3
25.06.1959	36,9	71,4	120	5,0
23.02.1960	36,7	71,1	160	5,9
20.03.1961	36,6	71,1	80	5,8
28.03.1962	36,9	71,4	110	6,0
14.10.1963	37,5	71,9	120*	5,3
06.07.1964	37,1	71,3	100	5,8
02.02.1965	37,4	73,2	11*	6,0
12.07.1966	36,9	71,4	108	5,1
22.05.1967	37,1	68,1	9	4,5
19.10.1968	37,5	73,2	15	5,3
24.11.1969	37,3	71,4	113	6,1
13.11.1970	37,0	71,5	102	5,7
07.05.1971	37,5	69,9	7*	3,9
30.05.1972	38,4	69,6	11*	4,8
02.06.1973	37,7	69,8	16	5,1
22.02.1974	36,6	71,4	100	5,9*
26.05.1975	37,7	69,7	8	4,8
23.02.1976	38,6	70,6	2	4,7
04.05.1977	37,1	71,3	100*	5,3*
13.10.1979	37,3	68,6	4	3,8
14.02.1980	37,1	69,3	10	4,7
03.02.1981	36,5	71,4	100	6,0
29.09.1982	37,2	73,2	20	5,8
30.10.1983	36,6	71,5	125	6,2
05.11.1984	37,6	70,2	5	5,2
03.10.1985	36,5	71,6	100	5,7*
17.09.1986	37,4	71,7	110	5,9
03.10.1987	36,5	71,4	94	6,4
09.09.1988	36,5	71,3	85	5,5
25.09.1988	37,2	71,8	10	5,9
24.02.1989	37,8	69,9	3	3,9

Примечание: \* — уточненные значения глубины гипоцентра и магнитуды.

## Сведения о землетрясениях в русле Сырдарьи

Дата	Координаты		Глубина гипоцентра, км	Магнитуда, M
	φ° с. ш.	λ° в. д.		
20.09.1934	40,0	69,6	10	4,4
06.05.1940	39,6	69,5	12	4,9
13.08.1941	40,8	71,3	20	5,1
14.02.1942	40,9	72,1	15	5,5
03.11.1946	41,7	72,2	20	5,3
02.06.1947	40,9	72,3	13	5,9
28.07.1948	41,4	75,3	6	4,9
16.09.1948	41,9	72,2	20	5,4
17.03.1949	42,0	72,7	15	5,0
03.12.1954	41,4	74,8	15	5,4
23.06.1955	41,6	71,7	21	5,0
08.05.1957	41,5	74,7	7	4,8
13.10.1958	41,6	75,0	12	5,2
12.07.1959	41,7	72,8	14	5,0
21.02.1960	40,2	71,7	19	4,6
17.07.1961	41,2	72,7	14	4,7
19.10.1963	41,2	71,6	8	4,6*
25.09.1965	41,5	75,0	10	5,1
30.04.1966	41,1	72,0	18	5,0
18.05.1967	40,6	70,8	6	4,6
20.03.1968	41,2	75,1	17	4,7
13.04.1969	40,0	70,8	14	4,5
09.12.1969	40,0	70,4	15	4,7
19.01.1970	41,0	69,2	14	4,6
09.02.1971	41,2	69,0	10	4,2
17.03.1972	40,3	69,6	20	5,0
16.01.1976	40,0	69,4	5	4,5*
31.01.1977	40,1	70,8	20	6,0
06.04.1979	42,0	77,6	15	4,5*
05.07.1980	41,8	77,5	15	6,1
06.05.1982	40,2	71,5	20	5,9
21.12.1983	42,1	77,4	15	4,8
15.02.1984	40,9	71,1	20	5,2
27.04.1985	40,9	71,1	15	5,2
13.10.1985	40,3	69,8	10	6,2
21.12.1985	41,3	72,2	18	5,5

Примечание: \* — уточненные магнитуды.

Сведения о стокообразующих осадках, притоке из зоны формирования и его аномалиях, фильтрационных и антропогенных потерях стока и притоке Амударьи в Аральское море, км<sup>3</sup>/год

Годы	X мм	Приток из зоны формирования стока			Фильтрационные потери		Антропогенные потери стока	Приток в море
		климатич.	фактич.	аномалии	бассейн	дельта		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1932	273	119,2	77,3	-41,9	6,0	7,4	21,7	42,2
1933	170	78,0	76,0	-2,0	11,5	7,2	16,6	40,7
1934	215	96,0	84,8	-11,2	10,2	9,6	10,9	54,1
1935	145	68,0	74,1	6,1	12,8	7,3	12,7	41,3
1936	181	82,4	73,1	-9,3	10,4	7,4	13,4	41,9
1937	142	66,8	80,4	13,6	14,4	6,7	21,5	37,8
1938	176	80,4	66,2	-14,2	9,6	6,1	15,9	34,6
1939	206	92,4	73,8	-18,6	8,8	5,7	26,8	32,5
1940	171	78,4	68,9	-9,5	10,4	5,5	21,8	31,2
1941	196	88,4	92,1	3,7	12,6	7,7	28,1	43,7
1942	232	102,8	89,6	-13,2	14,4	8,0	21,9	45,3
1943	183	83,2	79,8	-3,4	11,4	7,6	17,6	43,2
1944	109	53,6	73,7	20,1	15,7	7,5	7,7	42,8
1945	189	85,6	83,6	-2,0	11,5	9,6	7,8	54,7
1946	134	63,6	65,3	1,7	12,1	6,1	12,5	34,6
1947	154	71,6	63,1	-8,5	10,5	5,2	17,6	29,8
1948	97	48,8	77,8	29,0	17,8	7,2	12,3	40,5
1949	250	110,0	75,4	-34,6	6,6	8,6	11,7	48,5
1950	180	82,0	71,9	-10,1	10,3	6,2	20,6	34,8
1951	136	64,4	65,9	1,5	12,0	5,0	20,5	28,4
1952	210	94,0	91,7	-2,3	11,6	8,3	24,8	47,0
1953	219	97,6	84,8	-12,8	9,5	8,2	20,4	46,7
1954	196	88,4	82,6	-5,8	14,5	8,3	12,9	46,9
1955	147	68,8	69,4	0,6	9,5	6,3	18,0	35,6
1956	220	98,0	80,9	-17,1	10,0	7,2	22,8	40,9

Годы	X мм	Приток из зоны формирования стока			Фильтрационные потери		Антропогенные потери стока	Приток в море
		климатич.	фактич.	аномалии	бассейн	дельта		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1957	195	88,0	62,8	-25,2	12,9	4,6	19,0	26,3
1958	250	110,0	85,2	-24,8	15,4	7,9	17,4	44,5
1959	192	86,8	86,7	-0,1	13,1	6,3	27,2	40,1
1960	164	75,6	75,9	0,3	13,1	4,2	20,7	37,9
1961	160	74,0	71,6	-2,4	12,1	1,9	28,3	29,3
1962	165	76,0	64,0	-12,0	11,8	-0,8	23,8	29,2
1963	197	88,8	69,4	-19,4	8,5	1,6	29,0	30,3
1964	248	109,2	79,0	-30,2	10,9	2,5	28,9	36,7
1965	102	50,8	63,4	12,6	9,5	0,2	28,5	25,2
1966	115	56,0	78,2	22,2	14,6	2,5	28,0	33,1
1967	161	74,4	70,3	-4,1	13,1	0,7	27,9	28,6
1968	151	70,4	78,7	8,3	9,8	5,6	34,4	28,9
1969	338	145,2	126,0	-19,2	12,2	15,4	43,2	55,2
1970	188	85,2	75,7	-9,5	10,4	3,8	32,8	28,7
1971	112	54,8	67,2	12,4	8,7	5,2	37,9	15,4
1972	257	112,8	64,2	-48,6	7,7	8,9	32,1	15,5
1973	231	102,4	91,8	-10,6	10,0	10,1	38,3	33,4
1974	228	101,2	56,8	-44,4	11,3	1,8	37,5	6,2
1975	88	45,2	65,9	20,7	12,6	2,7	40,6	10,0
1976	219	97,6	67,0	-30,6	12,4	3,9	40,4	10,4
1977	91	46,4	73,2	26,8	11,9	4,3	49,8	7,2
1978	193	87,2	87,4	0,2	10,7	3,3	53,8	19,6
1979	213	95,2	77,0	-18,2	11,9	3,6	50,6	10,9
1980	253	111,2	71,5	-39,7	10,9	3,7	48,6	8,3
1981	234	103,6	52,0	-51,6	12,1	0,9	33,0	6,0
1982	270	118,0	40,4	-77,6	9,5	0,3	30,6	0,0
1983	245	108,0	57,4	-50,6	10,2	2,4	44,8	0,0
1984	186	84,4	54,0	-30,4	10,4	2,8	35,6	5,2
1985	182	82,8	60,7	-22,1	10,4	2,2	48,1	0,0
1986	86	44,3	36,1	-8,2	12,6	0,5	23,0	0,0
1987	216	95,4	54,7	-40,7	11,4	2,9	34,6	5,8
1988	208	92,6	64,3	-28,3	10,6	4,9	37,0	11,8

Сведения о стокообразующих осадках, притоке из зоны формирования и его аномалиях, потерях стока в бассейне реки и в дельте и притоке Сырдарьи в Аральское море, км<sup>3</sup>/год

Годы	X мм	Приток из зоны формирования стока			Потери стока		Приток в море
		климатич.	фактич.	аномалии	бассейн	дельта	
1	2	3	4	5	6	7	8
1932	256	35,6	32,2	-3,3			
1933	238	33,8	31,5	-2,3			
1934	337	46,4	46,4	2,7	30,8	5,8	9,8
1935	223	32,2	38,2	5,9	24,0	5,3	8,9
1936	303	40,3	38,6	-1,7	22,2	6,3	10,1
1937	299	39,9	34,1	-5,8	19,1	5,6	9,4
1938	182	28,2	28,1	-0,1	16,6	4,0	7,5
1939	179	27,9	28,6	0,7	17,2	3,9	7,5
1940	354	45,4	30,4	-15,0	18,6	4,1	7,7
1941	246	34,6	39,4	4,8	25,5	5,1	8,8
1942	353	45,3	44,2	-1,1	27,7	6,4	10,1
1943	237	33,7	36,3	2,6	20,1	6,2	10,0
1944	328	42,8	31,9	-10,9	19,7	4,2	8,0
1945	270	37,0	38,2	1,2	23,0	5,7	9,5
1946	305	40,5	37,8	-2,7	22,3	5,9	9,6
1947	215	31,5	29,9	-1,6	19,2	3,6	7,1
1948	243	34,3	39,5	5,2	26,1	4,8	8,6
1949	345	44,5	43,5	-1,0	27,4	6,1	10,0
1950	292	39,2	33,1	-6,1	21,2	4,1	7,8
1951	276	37,6	33,7	-3,9	20,5	4,8	8,4
1952	340	44,0	50,9	6,9	32,1	7,6	11,2
1953	359	45,9	43,8	-2,1	24,2	8,1	11,5
1954	515	61,5	47,0	-14,5	25,9	9,1	12,0
1955	228	32,8	38,2	5,4	21,5	6,5	10,2

Годы	X мм	Приток из зоны формирования стока			Потери стока		Приток в море
		климатич.	фактич.	аномалии	бассейн	дельта	
1	2	3	4	5	6	7	8
1956	318	41,8	38,9	-2,9	22,5	6,3	10,1
1957	287	38,7	27,9	-10,8	18,4	3,2	6,3
1958	296	39,6	47,9	8,3	30,0	7,1	10,8
1959	352	45,2	47,6	2,4	29,3	7,3	11,0
1960	386	48,6	48,4	-0,2	27,3	9,1	12,0
1961	166	26,6	29,7	3,1	19,2	3,6	6,9
1962	266	36,6	29,0	-7,6	23,2	1,8	4,0
1963	311	41,1	36,9	-4,2	26,3	3,6	7,0
1964	343	44,3	41,1	-3,2	26,1	5,6	9,4
1965	291	39,1	26,1	-13,0	21,4	1,5	3,2
1966	376	47,6	43,5	-4,1	33,9	3,2	6,4
1967	273	37,3	33,4	-3,9	24,7	2,8	5,9
1968	256	35,6	37,9	2,3	30,6	2,4	4,9
1969	562	66,2	75,0	8,8	57,5	6,9	10,6
1970	271	37,1	41,3	4,2	31,5	3,3	6,5
1971	215	31,5	36,6	5,1	28,4	2,6	5,6
1972	324	42,4	36,4	-6,0	29,4	2,2	4,8
1973	380	48,0	41,6	-6,4	32,7	2,9	6,0
1974	301	40,1	26,8	-13,3	24,9	0,6	1,3
1975	196	29,6	30,6	1,0	30,0	0,3	0,3
1976	231	33,1	31,2	-1,9	30,6	0,3	0,3
1977	248	34,8	33,7	-1,1	33,2	0,3	0,2
1978	218	31,8	37,2	5,4	36,4	0,4	0,4
1979	288	38,8	44,8	6,0	41,7	1,0	2,1
1980	296	39,6	37,0	-2,6	34,5	0,8	1,7
1981	387	48,7	32,2	-16,5	29,8	1,3	1,1
1982	213	31,3	29,9	-1,4	28,2	1,7	0,0
1983	362	46,2	47,2	1,0	46,3	0,9	0,0
1984	160	26,0	26,9	0,9	26,3	0,6	0,0
1985	275	37,5	29,0	-8,5	28,3	0,7	0,0

## Приложение VIII

Зависимость площадей и объемов Аральского моря  
от уровня над отметкой 53 м БС

<i>H</i> м	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>
0	66086	1063,7
-2	59610	938,4
-5	55348	766,1
-10	46648	511,2
-20	23383	161,1
-30	2689	40,8
-40	1597	20,6
-50	954	8,6
-69	0	0,0