ОС
КК143

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

*КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ*

*ТРУДЫ*

*ВЫПУСК 44*

# ВОПРОСЫ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
МОСКВА, 1972

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

*КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ*

06
КК 143
8

*ТРУДЫ*

*ВЫПУСК 44*

# ВОПРОСЫ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Под редакцией
докт. географ. наук М. Х. БАЙДАЛА

МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА
МОСКВА — 1972

УДК ~~551.583+556(082)~~ 06+551.58+551.48

Сборник посвящен многолетним колебаниям климата и водных ресурсов бассейнов Аральского моря и озера Балхаш.

Рассматриваются вопросы влияния этих водных объектов на климат и почвенно-растительный покров прилегающих районов. Указывается на характер и масштабы возможных изменений климата и растительности Приаралья в случае существенного уменьшения площади и уровня Аральского моря в связи с развитием орошаемого земледелия.

В некоторых статьях сборника рассматриваются вопросы методики исследования циклических и эпохальных явлений в многолетнем режиме гидрометеорологических процессов, методики диагноза гелио-атмосферно-гидрологических и гелио-гидрологических связей. Приводится результат гелио-атмосферноциркуляционного анализа предполагаемого изменения уровня Аральского моря в 18-м столетии, а также основные черты возможного изменения его естественного состояния до 2070 г.

Часть статей посвящена современному водному балансу Аральского моря и расчету его уровня на отдельные годы, 5—6-летия и ближайшие десятилетия.

Сборник рассчитан на специалистов метеорологов, гидрологов, агрометеорологов, гидротехников, гидрофизиков, проектировщиков и строителей.

231445

Республиканская научная сельскохозяйственная БИБЛИОТЕКА

2—9—6
222—71

## *ПРЕДИСЛОВИЕ*

Настоящий сборник составлен в основном по результатам исследований, выполненных научными сотрудниками КазНИГМИ по заявке Проектно-изыскательского и научно-исследовательского института Средазгипроводхлопок в виде обзорной записки по Аральской проблеме.

При этом ставилась задача приближенной оценки степени влияния Аральского моря на климат прилегающих территорий, на уровень грунтовых вод и почвенно-растительный покров. Необходимо было с позиций современной гидрометеорологической науки дать анализ многолетних колебаний климата бассейна Аральского моря, его уровня и стока питающих его рек Сырдарьи и Амударьи.

В связи с задачами по развитию орошаемого земледелия предусматривалось исследование степени нарушения естественного хода уровня Арала за счет водозабора и отражение этих нарушений на уровне грунтовых вод, почвенном покрове и динамике растительных сообществ на территории, непосредственно прилегающей к морю. Было очевидно, что оценка степени уменьшения площади и уровня Аральского моря за счет хозяйственной деятельности в течение ближайших десятилетий даже приближенно немыслима без определения возможного хода естественного их состояния, т. е. без сверхдолгосрочного прогноза.

Авторам сборника необходимо было разработать методы диагноза изменений характеристик Аральского моря в связи с основными климатообразующими факторами, что само по себе является сложной и трудоемкой задачей.

Тем не менее удалось с применением факторно-компонентного метода объяснить катастрофические колебания уровня Аральского моря в прошлом и примерно оценить долю естественного и искусственного понижения уровня, приведшего к современному его состоянию. Рассчитан ход естественного уровня моря на ближайшие десятилетия в соответствии с наметившимися тенденциями состояния климатообразующих факторов (прежде всего атмосферной циркуляции и солнечной активности). Это имеет, на наш взгляд, весьма важное значение, ибо до переброски вод из сибирских рек в бассейн Аральского моря, его водами невозможно пользоваться без знания перспектив изменения уровня общего увлажнения бассейна.

Предложенные до сего времени объяснения факторов колебаний уровня Аральского моря нельзя считать убедительными, так как

они исходили из формального сопоставления динамики уровня с циклами солнечной активности и не могли правильно трактовать чередования периодов их синфазного и асинфазного хода. В связи с этим появилась необходимость посвятить специальные статьи вопросам циклических колебаний и структуре геоактивных компонентов солнечной активности.

Одна статья сборника посвящена также Или-Балхашской проблеме и перспективам изменения водного баланса Балхаша в связи с использованием водных ресурсов Или-Балхашского бассейна.

В целях общего представления о возможных колебаниях водных ресурсов рассматриваемых двух крупных бассейнов в сборник включена также статья, посвященная расчету годовых сумм осадков по Приаралью до 2000 г., а также статья, объясняющая закономерные циклические колебания климата, обусловленные динамикой мгновенного полюса вращения Земли и связанными с этим колебаниями атмосферной циркуляции.

*М. Х. Байдал*

*М. Х. БАЙДАЛ, А. К. КИЯТКИН*

# НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ПРОБЛЕМЫ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

В Тезисах ЦК КПСС к 100-летию со дня рождения Владимира Ильича Ленина указывается, что сейчас резко возрастает роль научно обоснованных прогнозов на перспективу по экономическому, социальному и культурному развитию нашего общества. Сейчас, когда важнейшим направлением нашего экономического развития становится интенсификация производства, долгосрочное перспективное планирование хозяйственного строительства призвано сыграть в решении этой проблемы важнейшую роль. «Нельзя работать не имея плана, рассчитанного на длительный период и на серьезный успех» — указывал В. И. Ленин *.

Положением об определяющей роли перспективного плана, учитывающего эффективное использование природных богатств, проникнут был первый в мире долгосрочный план развития народного хозяйства СССР — план ГОЭЛРО, разработанный для построения материально-технической базы социализма под непосредственным руководством В. И. Ленина.

Вместе с тем В. И. Ленин считал величайшей опасностью в планировании народного хозяйства всякого рода субъективизм, игнорирование действительностью, отрыв от реальных возможностей, незнание законов природной среды.

Нам нужны, говорил В. И. Ленин, «...широкие планы не из фантазии взятые, а подкрепленные техникой, подготовленные наукой»**.

Естественно, что чем крупнее мероприятие перспективного плана, чем глубже оно затрагивает природно-экономические условия, тем основательнее требуется провести все предварительные технико-экономические расчеты и, в частности, его ожидаемой эффективности.

Задачи социалистического строительства в Средней Азии — этой жемчужины СССР, требуют долгосрочного планирования развития народного хозяйства с рациональным использованием самого лимитирующего из местных ресурсов — воды. Согласно плану на ближайшие пятилетия и на отдаленное будущее по ирригационному и гидроэнергетическому строительству в Средней Азии пот-

* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., изд. IV, т. 42, стр. 153—154.
** В. И. Ленин. Там же, т. 40, стр. 108.

ребуется использование значительной части водных ресурсов двух крупнейших рек — Сырдарьи и Амударьи. Этими планами на повестку дня ставятся еще две проблемы — проблема Аральского моря и проблема климата Приаралья. Сами по себе они чрезвычайно сложны и актуальны, ибо Аральское море и Приаралье для среднеазиатских республик и Казахстана это не только рыбопромысловая база и зона оздоровительных мероприятий, — это зона приаральских пастбищ, поливного земледелия, дешевого строительного материала, необходимое условие доступного уровня подземных вод и т. д. Наконец, Аральское море — антипод ветровой эрозии песков Приаралья.

Проблема взаимосвязи Аральского моря с климатом Приаралья имеет также несколько сторон. Во-первых, Аральское море хотя и не определяет собой существенных закономерностей климата прилегающих областей, но, будучи расположенным в середине среднеазиатских песчаных районов и являясь бессточным крупным водоемом, представляет собой идеальный природный индикатор общей увлажненности всего Среднеазиатско-Казахстанского региона. Во-вторых, Аральское море оказывает регулирующее влияние на осадки береговой зоны, способствуя уменьшению их в месяцы с изобилием осадков над окружающими территориями и увеличению в месяцы со значительным дефицитом над Средней Азией и Казахстаном. Наконец, в-третьих, Аральское море существенно влияет на климат береговой зоны шириной 20—30 *км* в отношении ряда его компонентов (температуры и влажности воздуха, суточного хода ветра, повторяемости туманов, продолжительности солнечного сияния, влажности и промерзаемости почвы, уровня грунтовых вод, состояния травостоя и т. д.). Определенное влияние Аральское море оказывает на микроклимат прибрежных поселков, городов и орошаемых полей и лугов.

Таким образом, перспективные планы водохозяйственного использования водных ресурсов Сырдарьи и Амударьи — это одновременно планы активного воздействия на судьбу крупнейшего водоема, а в некоторой мере и на климат и, естественно, через последний и на некоторые стороны хозяйственной деятельности всей прибрежной зоны.

Поэтому планы изъятия вод Сырдарьи и Амударьи на орошение должны выполняться в связи с двумя крупнейшими проблемами. К первой из них мы относим будущее общей увлажненности среднеазиатского региона, уровня Аральского моря и, в частности, объема стока Сырдарьи и Амударьи, ко второй — проблему переброски вод из сибирских рек в районы Приаралья.

Необходимо тщательно исследовать все крупнейшие (по величине и продолжительности) увлажнения в прошедших двух-трех тысячелетиях, которые имели место в бассейне Аральского моря, и на основе выявленных закономерностей составить объективный прогноз о естественном будущем этого моря на 50—100 лет хотя бы в самой общей форме, о самых крупных его чертах.

Современная изученность этого вопроса далеко не достаточная.

Неубедительность и условность выводов исследователей объясняются не только сложностью вопроса и скудностью сведений, но в значительной мере и недостатками методологического порядка. Не останавливаясь на них здесь подробно (ибо об этом будет идти речь в соответствующих разделах), укажем лишь, что в анализе многолетних колебаний общей увлажненности и уровня Аральского моря не применен структурный метод, атмосферная циркуляция учитывалась лишь в ее узко региональных формах и по существу не могла объяснить крупномасштабные климатообразующие процессы. Первопричиной всему принималась солнечная активность, сведения о которой, кстати, заимствовались из популярных источников без критического отношения к установленным ранее закономерностям.

Тем не менее, некоторыми исследователями выявлен и описан в литературе ряд важнейших особенностей многолетних колебаний общего увлажнения Средней Азии, стока Сырдарьи и Амударьи, уровня Аральского моря, а также его водный баланс и динамика берегов. Наиболее обширные исследования в последнее время опубликованы В. П. Львовым (1959, 1965 гг.) и А. В. Шнитниковым (1969 г.).

Наиболее существенные выводы исследований по Аральской проблеме мы приводим ниже.

1. Изменения уровня Аральского моря находятся в тесной связи с колебаниями климата всего среднеазиатского региона.

2. В ходе состояния Аральского моря за исторический период отмечаются следующие виды колебаний: сгонно-нагонные, сезонные, многолетние, вековые и сверхвековые с колебаниями уровня соответственно ±1,3 *м;* ±0,4 *м;* ±1 *м;* ±3 *м;* ±6 *м* и более.

3. В многолетнем изменении уровня Аральокого моря за последнее столетие отмечается несколько трансгрессивных и регрессивных периодов, каждый из которых длится примерно 30—40 лет с отклонениями от нулевой отметки (51,494 *м* абс.) ±1,5—2,0 *м.*

4. Трансгрессивные фазы Аральского моря наблюдаются как в многолетнем, так и в вековом аспекте в периоды подъема и в периоды максимума циклов солнечной активности.

5. Механизм воздействия солнечной активности на уровень Арала осуществляется через посредство атмосферной циркуляции, осадков, стока рек Сырдарьи и Амударьи. При этом максимумы и минимумы кривой уровня Аральского моря наступают в среднем через 18 лет после появления их на кривой солнечной активности. Основные максимумы и минимумы кривой уровня наступают спустя полгода — два с половиной года после соответствующих экстремумов в ходе осадков в Ташкенте (Львов) и один — три года в ходе осадков в Нарыне (Шнитников).

6. В жизни Арала в прошлом наблюдались три трансгрессивные фазы многовековых ритмов (1800 лет), когда часть стока Амударьи по пониженным местам старой дельты наполняла Сарыкамышскую впадину и, достигнув критических порогов сухого русла реки Узбой, сбрасывала воду в Каспий. В первую фазу (грани тре-

тьего и второго тысячелетий до новой эры) сброс по Узбою по Шнитникову продолжался, видимо, много столетий и был более или менее постоянным, в следующую трансгрессивную фазу (конец первого тысячелетия до новой эры) сток по Узбою не продолжался более четырех-пяти столетий, а в последнюю фазу (XIV—XVI столетия) он едва ли продолжался более двух столетий.

Эти периоды, однако, не были периодами поворота или прорыва вод Амударьи от Арала к Сарыкамышу, а были периодами, когда благодаря исключительному общему увлажнению Амударья не могла провести все свои воды в Арал и часть из них устремилась в русла древней дельты.

7. Многие авторы (А. С. Кесь, В. П. Львов, А. В. Шнитников и др.) отмечают, что хотя катастрофические изменения уровня Аральского моря происходят в унисон с общим увлажнением климата, тем не менее эти изменения климата отнюдь не должны быть также катастрофическими.

8. В отношении будущего уровня Аральского моря в литературе указывается прежде всего на то, что на основании современной динамики горных ледников и на фоне происходящей ныне регрессивной фазы общей увлажненности будут развиваться фазы низкого стояния уровня (Шнитников). В течение ближайших трех десятилетий (до 2000 г.) дан Львовым прогноз понижения уровня до — 1 *м* от нулевой отметки. При условии изъятия речного стока и потерь в дельтах к 2000 г. их уровень предполагается примерно на 5 *м* ниже нулевой отметки (51,494 *м* абс.).

9. Планируемые гидромелиоративные мероприятия на исследуемой территории не приведут к сколько-нибудь заметному изменению климатического режима, однако макроклиматический фон несколько изменится в сторону смягчения. Какова вероятность того, что на исследуемой территории заметно увеличится количество выпадающих осадков, по имеющимся косвенным материалам судить трудно.

Необходимо провести исследования для данной конкретной территории по следующим вопросам:

а) путем расчета и наблюдений уточнить величину суммарного испарения, существующего и возможного;

б) уточнить величину теплового и радиационного баланса, также существующего и возможного;

в) провести исследования по влагосодержанию, влагопереносу и влагоиспользованию в изучаемом районе.

Анализ литературных источников, стационарных данных по изучению растительного покрова и его продуктивности, а также визуальные маршрутные наблюдения дают возможность сделать некоторые ориентировочные выводы о состоянии пастбищной растительности и ее изменении в связи с колебаниями уровня Аральского моря.

10. Аральское море оказывает заметное влияние на состояние растительного покрова и его продуктивности только в местах, где грунтовые воды залегают не глубже четырех-пяти метров. В этом

случае корневая система некоторых растений (сарсазан, шведа, солерос, поташник, селитрянка и др.) достигает их уровня, что сказывается на урожайности указанных растений.

11. При понижении уровня Аральского моря существенные изменения произойдут с тростниковыми зарослями особенно в дельтах рек Амударьи и Сырдарьи. Понижение грунтовых вод до глубины 1—1,5 *м* приведет к быстрому исчезновению тростников и появлению менее ценной галофильной (солончаковой) растительности, урожайность которой в десятки раз ниже тростниковых травостоев.

12. Значительно меньшее влияние оказывает Аральское море на пастбища плакорных местообитаний с бурыми почвами (боялычевые, серополынные, биюргуновые и др.), грунтовые воды под которыми залегают глубже 25—30 *м*. На их продуктивность оказывают влияние атмосферные осадки. Площадь, занятая перечисленными пастбищами, составляет в Приаралье около 70%. Снижение влажности воздуха и умеренных осадков в прибрежной полосе (до 15—20 *км*) может привести к понижению урожая на 10—20%.

13. Освобождающаяся из-под моря поверхность может быть подвергнута эоловым процессам, что приведет к засыпанию некоторой части пастбищных угодий, прилегающих к Аральскому морю. Поэтому в плане мероприятий по закреплению территории, освобожденной от воды, необходимо предусмотреть создание искусственных площадей путем посева наиболее ценных и дикорастущих видов.

14. Полученные выводы являются предварительными. Для более глубокого научного анализа и обоснования необходимо стационарное изучение динамики продуктивности основных угодий и установления зависимостей между урожаем и различными факторами. Только в том случае можно будет дать объективную экономическую оценку использования пастбищ и их изменение во времени и в пространстве.

15. Исследования водного баланса Аральского моря, выполненные рядом авторов, показывают, что отдельные его элементы должны быть уточнены. Это в первую очередь относится к величинам подземного притока и испарения. В настоящее время эти величины по-видимому занижаются на 2—3 $км^3$ в год. Также необходимо уточнение величины атмосферных осадков путем введения достаточно обоснованных поправок.

16. Анализ приближенных значений элементов водного баланса Аральского моря, определенных за отдельные годы, позволяет выявить в их колебаниях цикличность различного масштаба. Кроме этого удалось установить, что многолетние изменения так называемого «видимого испарения» (испарение минус осадки), являются довольно устойчивыми. Это дает основание при расчете уровня моря по прогнозируемой величине поверхностного притока принимать указанную величину постоянной.

17. Моделирование гидрологических рядов с настоящее время позволяет производить оценку повторяемости продолжительных многоводных и маловодных периодов. В качестве математической

модели изменений годового стока может быть использована сложная цепь Маркова. Полученные по моделированному ряду эмпирические кривые обеспеченности группировок лет равной продолжительности и различной водности могут быть использованы для определения обеспеченности маловодных и многоводных периодов в ходе многолетней изменчивости притока в Аральское море.

18. Проведенные исследования показывают, что естественный приток в Аральское море за период 1971—2000 гг. будет примерно на 2—3% выше средних многолетних значений. Это дает основание полагать, что при отсутствии изъятия воды в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи уровень моря в рассматриваемый период (1971—2000 гг.) изменялся бы преимущественно в пределах отметок, наблюдавшихся в 1912—1960 гг.

19. Понижение уровня моря в 1961—1968 гг., по-видимому, обусловлено как климатическими факторами, так и хозяйственной деятельностью человека. Снижение уровня в 1961—1964 гг. в значительной мере является следствием уменьшения естественного притока в море. Его величина находится в пределах амплитуды колебаний уровня в 1912—1960 гг. Следует отметить, что оно нисколько не противоречит характеру внутривековых изменений уровня в этот период. Однако это понижение было более интенсивным, чем на фазах спада предшествующих внутривековых циклов. В последующие годы (1965—1968) следовало бы ожидать повышения или стабилизации уровня. Однако этого не произошло. Уровень продолжал понижаться. Водность рек в этот период была очень низкой, хотя никаких значительных климатических изменений в этот период не наблюдалось. Следует полагать, что это понижение уровня было в значительной степени обусловлено увеличением безвозвратных потерь воды в бассейне в 1961—1968 гг. 1969 г. был многоводным и в 1970 г. следовало ожидать повышения уровня моря. Действительно, оно наблюдалось, но было небольшим, по-видимому, в связи со сбросом в урочище Арнасаи около 20 $км^3$ стока Сырдарьи. Безвозвратные потери стока естественно окажут отрицательное влияние на динамику водного баланса последующих лет.

20. При условии, если безвозвратные потери в бассейне моря останутся на уровне 1970 г. (11,4 $км^3$ в год), его уровень будет снижаться. К 2000 г. он снизится примерно на два метра по сравнению с его отметкой в 1970 г.

21. При увеличении безвозвратной потери уровень будет снижаться более интенсивно. К 2000 г. уровень моря в зависимости от минимальной, средней или максимальной величины забора воды на орошение снизится примерно на 8—16 *м* по сравнению с его отметкой в 1970 г.

22. При намеченном максимальном изъятии стока рек Амударьи и Сырдарьи площадь Аральского моря к 2000 г. уменьшится примерно на 60% по сравнению с площадью при уровне 53,00 *м* абс. Объем моря в соответствии с проведением указанных мероприятий к 2000 г. уменьшится примерно на 75% по сравнению с объемом при уровне 53,00 *м* абс.

23. Осуществление переброски стока сибирских рек позволит замедлить снижение уровня моря и не допустить значительного уменьшения его отметок.

24. Дальнейшие перспективы хода естественного уровня Аральского моря и масштабов увлажнения его бассейна (до 2070 г.) ориентировочно можно характеризовать колебаниями около нормы со значительным (порядка 80-х годов 19 столетия) понижением в тридцатых годах 21 столетия.

Бассейн Аральского моря — это обширная территория Советского Союза от Каспийского моря на западе до Сарыкольского и Кокшаал-Тауского хребтов, Кунгей и Заилийского Алатау на востоке, от водоразделов рек Атрек, Теджен, Мургаб и хребта Гиндукуш на юге до водоразделов рек Тургай и Убаган и Мугоджарских гор на севере.

Общая площадь бассейна составляет более 2,7 млн. *км*$^2$. В пределах Советского Союза площадь равна 2,4 млн. *км*$^2$, или 10,7% всей его территории. В пределах этого района расположены республики Средней Азии целиком, большая часть Казахской ССР, северные провинции Афганистана и Северный Иран в пределах бассейна рек Амударьи, Теджена и Атрека. Бассейн Аральского моря включает бассейны рек Амударьи, Сырдарьи, Чу, Таласа, Ассы, Сары-Су, Тургая и ряда мелких бессточных рек. Территория бассейна представляет собой, в основном, обширную слабо расчлененную равнину, широкими уступами спускающуюся с востока на запад к Аральскому и Каспийскому морям. Горы занимают только 20% всей его территории.

Агроклиматические условия значительной части бассейна довольно благоприятны для возделывания хлопчатника и ряда других теплолюбивых культур: риса, винограда, плодовых и цитрусовых. В силу своего географического положения значительная часть региона представляет типичную аридную зону, где без орошения практически невозможно интенсивное развитие сельского хозяйства.

Сочетание природных условий определяет современное экономическое положение бассейна в сельскохозяйственном производстве страны. Орошаемая площадь в бассейне равна 5,5 млн. *га* или 16% от всех земель, пригодных к орошению (табл. 1). Производство хлопка-сырца в республиках Средней Азии и Казахстане, расположенных в бассейне, достигло 6,55 млн. *т*, что составляет 95% сбора хлопка в Советском Союзе. Производство риса в этот же период в бассейне достигало 59%.

Плодородие почв и продолжительность вегетационного периода позволяют получать на поливных землях в южной части бассейна по два и даже три урожая в год.

Помимо этого район богат также полезными ископаемыми: рудами черных и цветных металлов, золотом, природным газом, нефтью, каменным углем, мирабилитами, серой и т. д., являющимися основой дальнейшего развития всех видов добывающей и перерабатывающей промышленности.

Горная и предгорная территории бассейна располагают доста-

*Таблица 1*

**Распределение земель (млн. га), пригодных к орошению по республикам и провинциям, входящим в бассейн Аральского моря**

| Республика | Площадь | Земли, пригодные к орошению (нетто) |
|---|---|---|
| Узбекская . . . . . | 45,11 | 7,6 |
| Казахская . . . . . | 110,04 | 17,3 |
| Киргизская . . . . . | 20,00 | 1,3 |
| Таджикская . . . . . | 14,25 | 1,0 |
| Туркменская . . . . | 49,26 | 7,0 |
| Итого по территории СССР . . . . . | 238,7 | 34,2 |
| Северные провинции Афганистана . . . | 25,70 | 1,0 |
| Северо-восточный Иран . . . . . | 6,50 | 0,2 |
| Всего по бассейну . . | 270,86 | 35,4 |

*Таблица 2*

**Распределение поверхностных водных ресурсов в бассейне Аральского моря**

| Бассейны рек | Среднегодовой сток, км³ | Процент к общему стоку |
|---|---|---|
| Амударьи . . . . . | 79,1 | 63,2 |
| Сырдарьи . . . . . | 35,6 | 28,5 |
| Чу . . . . . | 3,8 | 3,04 |
| Таласа и Ассы . . . | 2,1 | 1,70 |
| Котловины Иссык-Куля . . . . . | 3,3 | 2,66 |
| Северного Приаралья | 1,1 | 0,90 |
| Всего по бассейну . . | 125,0 | 100 |

точно большими гидроэнергетическими ресурсами, составляющими свыше 22% всех запасов Советского Союза. Они оцениваются по средневодному году в 540 млрд. квт·ч, из которых технически целесообразные и пригодные для использования — около 280 млрд. квт.ч. В настоящее время гидроэлектростанции бассейна вырабатывают только 3 млрд. квт.ч в год, или около 3,5% возможного производства гидроэнергии.

В республиках, расположенных на территории бассейна, по данным переписи населения на 1 января 1970 г. проживает 23,60 млн. человек, из них городского населения 9,4 млн. и сельского 14,2 млн. Всего в бассейне, включая зарубежные районы, проживает около 28,12 млн. человек. Предполагается, что к 2000 г. население бассейна Аральского моря достигнет 45 млн. человек, из них в Советском Союзе — 37 млн.

Поверхностные водные ресурсы рассматриваемого бассейна оцениваются примерно в 125 $км^3$, что составляет около 3% всех водных ресурсов страны (табл. 2).

Кроме поверхностных вод, территория бассейна располагает довольно существенными запасами подземных вод, эксплуатационные запасы которых подлежат уточнению. Существует мнение, что подземные воды в значительной мере образуются за счет потерь поверхностного стока.

Территория бассейна Аральского моря перспективна и для развития животноводства. Пустыни Каракум, Кызылкум, Бетпак-Дала и Устюрт при достаточном обводнении могут стать великолепными пастбищами. Таким образом, при достаточной водообеспеченности этот богатейший край станет одним из главнейших поставщиков не только технических, но и зерновых, плодовых культур,

винограда и бахчевых, а также продукции животноводства. Для этого необходимы дополнительные источники водных ресурсов. Поэтому не случайно в октябре 1965 г. Президиум Совета Министров СССР обязал поручением Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР при участии Министерства энергетики и электрификации СССР и Министерства рыбного хозяйства СССР рассмотреть вопрос и разработать схему комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря с учетом интересов рыбной промышленности и других отраслей народного хозяйства. На основании этого Минсельхоз и Минмелиоводхоз СССР 12 августа 1969 г. предложил институту Средазгипроводхлопок составить схему комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря с учетом подачи воды из рек Сибири.

Основными задачами схемы являются: уточнение земельного фонда, пригодного для развития поливного земледелия, установление очередности осуществления основных объектов водохозяйственного строительства до 2000 г.; определение рационального перераспределения местных вод в бассейне; выявление оптимальных вариантов водохозяйственных мероприятий для подачи и использования воды из рек Сибири, разработка коренных мер по улучшению рыбохозяйственного использования бассейна. Одновременно будет определена роль Аральского моря в формировании комплекса действующих природных факторов в бассейне при различных объемах воды в море и выяснен вопрос нарушения равновесия природных процессов от перераспределения поверхностного стока воды на его территории и, в частности, влияние исчезновения акватории Аральского моря на установившиеся природные процессы в бассейне. При составлении схемы предполагается принять за основу планы развития основных отраслей народного хозяйства, разработанные СОПСом при Госплане СССР до 2000 г. Будут тщательно изучены все проектные проработки предшествующих лет, относящиеся к данному району.

По предварительным наметкам схема использования собственных водных ресурсов и рек Сибири должна быть расчленена на три условных расчетных периода.

Первый расчетный период предположительно будет завершен к 1985 г. За это время намечается осуществить полное освоение собственных водных ресурсов бассейна Аральского моря.

Второй — продлится до 2000 г. За это время намечается осуществить подачу в бассейн стока Сибирских рек в объеме около 50 $км^3$ в год. Третий расчетный период относится к отдаленной перспективе, когда предполагается увеличить подачу стока рек Сибири настолько, чтобы завершить полное использование всего земельного фонда в бассейне, пригодного для орошения.

Разрабатываемая схема комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря должна включать также вопросы комплексного использования водных и земельных ресурсов бассейнов Амударьи, Сырдарьи, Чу, Таласа, Ассы и др. рек.

Освоение территории, превышающей орошаемые в настоящее

время земли в шесть раз, не имеет примеров в мировой практике и будет сопровождаться существенными преобразованиями, в частности как природообразующих, так и экономических факторов. Речь идет о двух- трехкратном увеличении имеющихся водных ресурсов и освоении около 30,0 млн. *га* новых земель. Поэтому первостепенной задачей составления схемы является выявление и решение проблем изменения климатических, гидрогеологических и мелиоративных факторов на отдельных крупных земельных массивах. Не менее важной задачей является определение необходимого обмена стока рек Сибири для поэтапного и перспективного развития всех отраслей народного хозяйства и установление комплекса мероприятий по рациональному использованию речного стока для полного и поэтапного освоения всех земельных ресурсов на базе внедрения прогрессивной техники, а также определение стоимости и сроков строительства водохозяйственных объектов и освоения земельных массивов.

Для достижения указанных задач необходимо прежде всего разработать гипотезу развития основных отраслей народного хозяйства на уровень 1985 и 2000 гг. с учетом отдаленной перспективы полного использования земельного фонда бассейна, определить земельный фонд и выявить ресурсы поверхностных и подземных вод в пределах бассейна.

Одновременно должны быть решены задачи, связанные с изменением природных условий климата, гидрогеологии, эрозии почв в бассейне Аральского моря, и разработаны мероприятия по сохранению рыбохозяйственного значения как самого моря, так и вновь созданных водохранилищ, прудов и каналов.

Помимо этого должны быть решены вопросы определения расчетных значений оросительных норм, режима орошения для основных культур на территориях, не используемых под хлопкосеяние, а также составлены водоземельные балансы по отдельным крупным ирригационным районам и всему бассейну на различные расчетные уровни.

Ввиду сложности составления схемы и необходимости решения всех поставленных задач, наиболее правильным представляется исходить из конечного уровня потребления воды всеми отраслями народного хозяйства данного района, учитывая полное использование всего земельного фонда. На конечном этапе необходимо четко ограничить объем воды, подаваемый из местных источников, и выявить потребность подачи определенного объема стока сибирских рек. Гидротехнические сооружения в таких условиях будут работать изолированно и независимо друг от друга, поэтому параметры сооружений для первых этапов должны намечаться с учетом работы и в последнем планируемом периоде.

Намечено также определить направление и высотное положение водных трактов, параметры и режимы работы регулирующих и распределительных гидроузлов, необходимых для перераспределения воды внутри собственных бассейнов, и объем мероприятий по поэтапному использованию перебрасываемого стока сибир-

ских рек, а также количество воды, сбрасываемой в Аральское море.

Концентрация ирригационного, промышленного и коммунально-бытового водопотребления стока рек бассейна в наиболее высоко расположенных районах не может не затронуть интересов гидроэнергетики. Следует ожидать значительного утяжеления режима работы всех низовых раздаточных гидроузлов. В этих условиях гидростанции должны располагаться только выше гидроузлов, осуществляющих регулирование стока в интересах ирригации и других водопотребителей.

В соответствии с намеченной направленностью разработки схемы была составлена предварительная схема водохозяйственных мероприятий, охватывающая все пригодные к орошению земли в бассейне.

По данным имеющихся бассейновых схем водными ресурсами рек Амударья, Сырдарья, Чу, Талас, Ассы может быть орошено около 10 млн. *га*. По-видимому, первыми районами, использующими воду сибирских рек, будут земельные массивы, расположенные в зоне водоподводящего тракта, а также низовья Сырдарьи и Амударьи, куда воду можно будет подать в основном самотеком. При подводе воды к районам Кзыл-Ординской плотины и Тюямуюнского гидроузла будет высвобожден сток Сырдарьи (6,0 *км*$^3$) и Амударьи (21,0 *м*$^3$ в год), которым может быть в существенной степени покрыта потребность в воде районов выше Чардарьинского и Тюямуюнского водохранилищ на крупных земельных массивах Бухарского, Каршинского, Кашкадарьинского, Чакир-Дальверзинского, Ферганского и Голодностепского водохозяйственных районов. При таком распределении стока в пределах республик Средней Азии могут быть обеспечены водой все лучшие земли площадью порядка 9,0 млн. *га*, а с учетом орошаемых земель в бассейнах рек Чу, Талас, Ассы площадь их составит 10,0 млн. *га*. К этому времени орошаемая площадь в низовьях Амударьи и Сырдарьи на сибирской воде может быть доведена до 2,3 млн. *га*.

Потребность в сибирской воде, необходимой для орошения 2,3 млн. *га*, с учетом затрат на промышленно-коммунальные нужды и непроизводственные потери (20% потребления поливного земледелия) составит ориентировочно 45—50 *км*$^3$ в год. Эти масштабы и предполагается принять за основу для первой очереди работ по переброске стока сибирских рек в басоейн Аарльского моря.

Последующим этапом переброски может явиться переключение на сибирскую воду земель низовьев Сырдарьи, включая бассейн реки Арысь, Амударьи и земель западной Туркмении, низовьев бассейнов Чу, Таласа, а также Северного приаралья, площадью 22,0 млн. *га*. С помощью машинного водоподъема общая орошаемая площадь с учетом планируемой во вторую очередь достигнет 32,0 млн. *га*. Для этой площади ориентировочная потребность стока сибирских рек может быть определена в 280 *км*$^3$ в год. И, наконец, при полном использовании земельных ресурсов бассейна Аральского моря по современным представлениям будет последующее орошение оставшихся земельных массивов в среднем тече-

нии реки Амударьи. Суммарная орошаемая площадь на этом этапе в пределах СССР может быть доведена до 34 млн. *га*, а потребность в сибирской воде составит около 310 *км*³ в год.

Будущее Аральского моря будет зависеть от величины стока, подаваемого из сибирских рек для нужд народного хозяйства, а вернее от величины сброса его в Аральское море и объема стока возвратных вод. До подачи сибирской воды уровень Аральского моря будет постоянно снижаться. После осуществления первой очереди подачи воды в объеме 45—50 *км*³ в год это снижение замед-

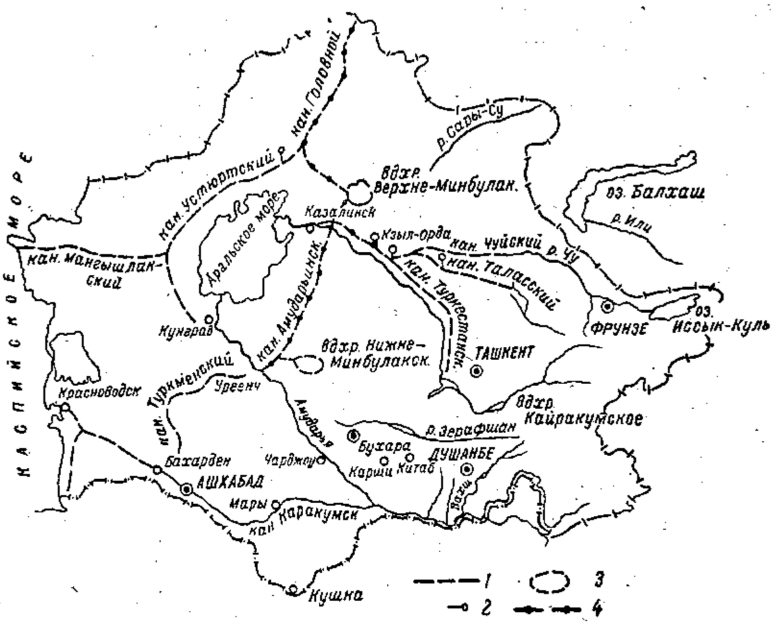



Рис. 1. Схематическая карта бассейна Аральского моря. Предварительная основа водохозяйственных мероприятий:

*1* — водопроводящие тракты, *2* — насосные станции, *3* — водохранилища. *4* — первая очередь работ по переброску стока сибирских рек, *5* — граница бассейна

лится, но достижение существующего уровня будет невозможно. Существенное повышение уровня моря может быть достигнуто, по-видимому, лишь по мере увеличения площади орошения за счет стока сибирских рек. После нескольких лет эксплуатации водопроводящих трактов, при пропуске по ним стока воды порядка 200 *км*³ в год, можно ожидать достижения современного уровня.

При составлении программы по схеме бассейна Аральского моря предварительно намечены трассы главных водопроводящих трактов, места наливных водохранилищ и насосных станций. При подаче воды из рек Сибири по северному варианту головной подводящий канал в бассейне Аральского моря пройдет по Тургайской ложбине и далее по долине реки Тургай по направлению к Каза-

линску, через Верхне-Минбулакскую котловину, которую предполагается использовать как наливное водохранилище.

Для орошения и обводнения земель в бассейне Аральского моря предполагается схематически наметить (рис. 1) трассы Амударьинского канала, подающего воду в междуречье Амударьи и Сырдарьи, а также в низовья Амударьи; Туркменского канала, предназначенного для подачи воды в районы северо-западной и юго-западной Туркмении, а также Туркестанского, Таласского и Чуйского каналов, предназначенных для подачи воды в район Чардарьинского водохранилища, в низовья рек Чу и Таласа; Устюртского канала для подачи воды на плато Устюрт и полуостров Мангышлак.

В настоящее время институтом Средазгипроводхлопок и субподрядными проектными и научно-исследовательскими организациями выполняются работы по разработке схемы.

Грандиозные по масштабам работы по перераспределению поверхностного стока вод между бассейнами и внутри его внесут большие изменения в природу огромной территории Средней Азии и коренным образом изменят ее географический облик. В период с 1950 по 1970 г. на территории бассейна Аральского моря уже построены десятки водохранилищ, десятки тысяч километров крупных ирригационных каналов и орошено более полутора миллионов гектаров новых целинных земель. Голодная степь превращается в цветущий край. Ускоренными темпами началось освоение Каршинской степи, в степях и пустынях появились цветущие оазисы.

Помимо поливного земледелия широко развилось обводнение пастбищ, выросло промышленное и коммунальное водоснабжение, в результате чего резко возросла потребность в воде. Это привлекло внимание к водным ресурсам бассейна Аральского моря и к судьбе самого моря, одного из крупнейших в мире замкнутых водоемов.

В предстоящие 15 лет в бассейне Аральского моря запланировано построить 29 водохранилищ общей емкостью более 50 *км*$^3$ и дополнительно ввести более 3,0 млн. *га* новых целинных земель, что, безусловно, повлияет на изменение ландшафта крупных районов и резко сократит площадь и объем Аральского моря.

Практика осуществления крупных комплексных гидротехнических проектов показала, что система оценок результатов деятельности человека на природу в пределах короткого интервала времени уже недостаточна. Не случайно в настоящее время назрела необходимость в перспективном планировании преобразований природы на 30—50 лет вперед. Такое планирование вполне реально и может быть обосновано конкретными годичными и пятилетними планами, а также опытом планирования и осуществления проектов со всеми последствиями в предыдущих пятилетках. Только в пределах длительных интервалов времени можно получить достаточно полную оценку преобразовательной деятельности человека, вооруженного современной техникой. Поэтому не случайно ученые Советского Союза и других стран уделяют большое внимание науке



231445
Республиканская научная сельскохозяйственная

о взаимоотношениях живых организмов со средой. В связи с этим перед учеными и проектировщиками различных специальностей возникает ряд проблем.

Одним из кардинальных вопросов, на который должны ответить ученые совместно с проектными организациями — это определение значения Аральского моря в формировании комплекса действующих природных факторов в его бассейне при различных его объемах и вопрос нарушения природных процессов от перераспределения поверхностного стока внутри бассейна. Для рационального перераспределения стока рек потребуются длительные сроки на выполнение научно-исследовательских, проектных и строительных работ.

В настоящее время мнения ученых относительно судьбы Аральского моря противоречивы. Большинство ученых Средней Азии и Казахстана считают, что Аральское море необходимо сохранить в оптимальных размерах. Другие ученые считают, что можно допустить высыхание моря, а воду использовать на развитие поливного земледелия и других отраслей народного хозяйства. К тому же на базе концентрированной соленой воды моря можно развивать химическую промышленность, в частности добычу магния. Осушенные площади речных дельт и дна моря можно использовать для увеличения площадей поливного земледелия. Безусловно, экономический эффект от использования водных ресурсов на развитие поливного земледелия несоизмеримо больше, чем расходование этой воды на поддержание уровня моря для развития рыбоводства, ондатроводства и судоходства.

Однако судьба Аральского моря не может быть решена путем чисто экономических подсчетов. Решение проблемы моря связано с целым рядом сложных задач и вопросов. В частности, это вопросы нарушения природного равновесия на окружающей территории под влиянием хозяйственной деятельности человека; возможных гидрогеологических, гидрохимических, биологических изменений показателей речного стока и самого водоема; экономической и хозяйственной оценки возможных изменений природы данной территории и установления возможных путей хозяйственного использования моря.

Помимо вопросов, связанных с судьбой Аральского моря, при решении схемы возникает ряд вопросов, связанных с территорией бассейнов Аральского моря и Западной Сибири. К этим вопросам необходимо отнести:

— разработку научных основ и методики составления водохозяйственных водосолевых балансов крупных орошаемых территорий, учитывающих их природные особенности;

— изучение земельного фонда бассейна Аральского моря, рациональное направление его использования на имеющемся местном стоке и стоке воды, подаваемой из сибирских рек;

— экономическую оценку влияния расходов воды на продуктивность сельхозкультур для конкретных природно-экономических условий;

— выбор основных параметров гидроэлектростанций на сибирских реках (Оби, Енисее и Лене), намеченных ранее без учета переброски части стока в бассейн Аральского моря.

Мнения ученых противоречивы оттого, что недостаточно детально изучены перечисленные вопросы. Недалеко то время, когда часть воды многоводных рек Западной Сибири потечет в Среднюю Азию и Казахстан. К этому должны быть готовы и ученые и производственники. Для того, чтобы своевременно ответить на многие проблемные вопросы, необходимо, чтобы Комитет по науке и технике Совета Министров Союза ССР разработал комплексную тематику научно-исследовательских работ, связанных с намечаемыми перебросками стока из северной части Советского Союза в южную, обладающую высокой продуктивностью земли в сочетании с благоприятными климатическими условиями.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Андрианов В. Г., Воскресенский К. П., Глущенко Н. Я., Попова Н. Ф. Исследование повторяемости и продолжительности периодов различной водности на реках СССР. Труды ГГИ, вып. 127, 1965.
2. Аполлов Б. А., Алексеев К. Н. Связь деятельности Солнца с явлениями, определяющими сток рек. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. VII, 1959.
3. Асарин А. Е. Уровенный режим Аральского моря при развитии водопотребления в бассейнах рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи. Труды Гидропроекта, сб. 12, М.—Л., 1964.
4. Афанасьев А. Н. Колебание гидрометеорологического режима на территории СССР. Наука, М., 1967.
5. Байдал М. Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. Гидрометеоиздат, Л., 1961.
6. Байдал М. Х. Засухи и солнечная активность. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1963.
7. Байдал М. Х. Полюс циркуляции как фактор колебания климата. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1963.
8. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Гидрометеоиздат, ч. I и II, Л., 1964, ч. III, Л., 1965.
9. Байдал М. Х. К вопросу о масштабах и формах реализации влияния солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
10. Байдал М. Х. Расчет площади сокращения Центрального Туюксуйского ледника и общая тенденция динамики ледников в предстоящем десятилетии. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
11. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.
12. Байдал М. Х. К вопросу о климатообразующих и климатовозмущающих факторах. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
13. Байдал М. Х. Эпохальные особенности атмосферной циркуляции и связанные с ними явления. Труды КазНИГМИ, вып. 19, 1959.
14. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в 20-м веке. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
15. Брадовицкий К. В., Предтеченский П. П. Основные положения методов долгосрочных предсказаний погоды, учитывающие солнечную активность. Труды ГГО, вып. 1, 1940.
16. Бугаев В. А., Джорджио В. А., Петросянц М. А., Романов Н. Н. Особенности атмосферной циркуляции над Средней Азией, определяющие ее климат. Хлопчатник, т. V. Изд. АН.УзбССР, Ташкент, 1957.
17. Бучинский И. Е. К методике исследования внутривековых колебаний осадков. Труды УкрНИГМИ, вып. 29, 1961.

18. Быков Б. А. Общие физико-географические условия и растительность Северного Приаралья. Сб. Биоклиматические основы использования и улучшения пастбищ Северного Приаралья. Наука, Алма-Ата, 1968.
19. Геллер С. Ю. Некоторые аспекты проблемы Аральского моря. Сб. Проблема Аральского моря, Наука, 1969.
20. Голубцов В. В. О реальности сверхвековых циклов солнечной активности. Солнечные данные, № 6, Наука, М.—Л., 1965.
21. Голубцов В. В. О внутривековых колебаниях водоносности рек. Труды КазНИГМИ, вып. 26, 1967.
22. Давыдов Л. К., Давыдов Л. К. Колебания водоносности рек Средней Азии. Труды ГМ отдела Средаз. метеорологического института, вып. 2, 1929.
23. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества атмосферных осадков на территории СССР. Труды ГГО, вып. 245, 1969.
24. Жуков М. С. Расходы рек Средней Азии и солнечная активность. Труды ГМ отдела Средаз. метеорологического института, т. I, вып. 2, 1929.
25. Зайков Е. Д. Водный баланс и уровень Аральского моря в связи со строительством главного Туркменского канала. Труды ГГИ, вып. 16, 1952.
26. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Гидрометеоиздат, Л., 1968.
27. Кесь А. С. Основные этапы развития Аральского моря. Сб. Проблемы Аральского моря. Наука, М., 1969.
28. Львов В. П. Проблема уровня Аральского моря за последние сто лет. Труды ГОИН, вып. 46, 1959.
29. Львов В. П. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
30. Павлов С. П. О водном балансе Аральского моря. Сб. Рыбные запасы Аральского моря и пути их рационального использования. Наука, УзбССР, Ташкент, 1964.
31. Ротов М. М. Гидрология дельты Аму-Дарьи. Гидрометеоиздат, Л., 1957.
32. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
33. Самойленко В. С. Состояние вопроса о водном балансе и колебаниях уровня Аральского моря. Труды ГОИН, вып. 20, 1955.
34. Суслов Л. Е. Об особенностях распределения и многолетних колебаниях аномалий температуры воздуха и осадков в Казахстане в различные эпохи циклов солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 31, 1968.
35. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Наука, Л., 1969.
36. Шульц В. Л. Проблема Аральского моря. Труды САНИГМИ, вып. 32(47), 1958.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# ТИПЫ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Было бы не совсем верно говорить об условиях атмосферной циркуляции, обусловливающих колебания климата, ибо последние есть результат воздействия нескольких факторов, среди которых, кроме атмосферной циркуляции, следует назвать солнечную активность, динамику движения мгновенного полюса вращения земли, колебания прозрачности атмосферы и пр. Правда, в литературе солнечная активность и тем более движение мгновенного полюса вращения земли упоминаются редко как климатообразующие факторы. Более того, имеется мнение о том, что атмосферную циркуляцию тоже не следует считать климатообразующим фактором [6], а что она сама есть элемент климата.

Широко распространено мнение, что солнечная активность воздействует на климат через атмосферную циркуляцию [9—11] и поэтому с ней можно сопоставлять климатические ряды. Однако, как увидим ниже, это далеко не так. Колебания атмосферной циркуляции нельзя считать зависящими только от солнечной активности. Определенное влияние на повторяемость тех или иных типов атмосферной циркуляции оказывает кроме солнечной активности также динамика истинного (мгновенного) полюса вращения земли. Последний, двигаясь вокруг географического полюса, как известно, то удаляется, то приближается к нему. Таким образом, траектория мгновенного полюса вращения земли (МПВЗ) изображается в виде раскручивающихся или закручивающихся спиралей, причем максимальное удаление его от географического полюса по новейшим данным имеет порядок около одного километра, что, несомненно, сказывается на режиме движения воздушных масс над вращающейся землей, ибо плотность воздушной оболочки на много порядков меньше плотности земли.

В работах автора [1, 2] показано, что в периоды закручивания спирали движения МПВЗ при увеличении скорости вращения земли повторяемость зонального типа процессов увеличивается, а в периоды раскручивания повторяемость таких процессов уменьшается, что можно видеть на рис. 1, на котором представлена связь повторяемости (%) центрально-арктического местоположения полюса атмосферной циркуляции с величиной отклонения (в *сек*) МПВЗ от географического полюса.

При минимальных отклонениях МПВЗ от географического полюса почти 50% времени полюс атмосферной циркуляции располагается в центре Арктики. При этом резко увеличивается повторяемость зональных форм атмосферной циркуляции.

Совершенно иной режим циркуляции преобладает в период расположения полюса циркуляции в периферийных районах Арктики, что, как правило, имеет место в годы максимального удаления МПВЗ от географического полюса.

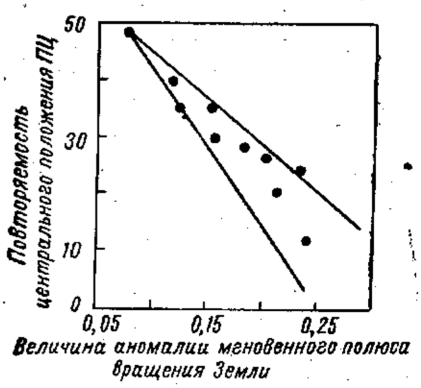



Рис. 1. Зависимость повторяемости центрального местоположения полюса циркуляции от величины расстояния мгновенного полюса вращения Земли от географического полюса

Следовательно, нельзя судить об эпохальных преобразованиях типов атмосферной циркуляции только по солнечной активности.

Еще менее надежна связь между солнечной активностью и региональными типами атмосферной циркуляции. Тем не менее нередко исследователи предпочитают пользоваться именно местными типизациями атмосферных процессов, предполагая, что они якобы более однозначно отражают характер погоды, так как они более детализированы, чем крупномасштабные типы, какими, например, являются типы атмосферной циркуляции по Г. Я. Вангенгейму [7]. По нашему мнению, это полное недоразумение, особенно, если речь идет о более или менее длительных периодах времени (сезоны или несколько лет).

В самом деле, местные типы атмосферных процессов, не учитывающие характер атмосферной циркуляции над крупными районами (материки или даже полушария), а значит не учитывающие основные характеристики воздушных масс, поступающих из основных очагов формирования (Атлантика, Арктика, Африка и пр.), не могут более или менее однозначно характеризовать погоду в данном районе. Будучи оторванными от крупных воздушных течений и высотных макродеформационных полей (следовательно, генетически не связанными с ними), местные типы атмосферной циркуляции характеризуются большим диапазоном колебания метеорологических элементов. Иначе и не может быть, ибо, например, местный тип «западного вторжения» в Казахстан будет являться частью макросиноптической ситуации с западно-восточным переносом над всем атлантико-евразийским сектором северного полушария, и в другом случае — частью макросиноптической ситуации со стационарным блокирующим антициклоном над Скандинавией при зональном переносе воздушной массы над юго-востоком европейской части СССР и Казахстаном.

В первом случае на территорию Казахстана поступают с большими скоростями влажные атлантические массы воздуха, а во вто-

ром случае — арктические. Особенно велика разница в погоде над Казахстаном между двумя этими вариантами циркуляции, если первый тип процесса охватывает все северное полушарие. В этом случае скорости движения в восточном направлении барических систем и воздушных масс настолько значительны (до 1,5—2 тыс. *км* в сутки), что на Казахстан атлантические массы воздуха поступают совершенно мало трансформированными.

Без учета макросиноптической ситуации остается необъяснимым для местных типов не только большой разброс значений метеоэлементов, но и характеристики преемственности самих типов.

Кроме того, с помощью местных типов почти невозможно объяснить экстремальные аномалии погоды, которые встречаются при тех же местных типах, при каких эти аномалии незначительны.

Для объяснения катастрофических аномалий погоды недостаточен учет даже крупных среднеширотных типов атмосферной циркуляции, а необходим учет таких глобальных особенностей, как динамика полюса атмосферной циркуляции в северном полушарии.

Генетическая оторванность местных типов синоптических процессов от макроциркуляционных полей не позволяет прогнозировать их вперед на сколько-нибудь длительное время.

Из вышеизложенного следует, что для объяснения прошедших и ожидаемых колебаний климата и уровня бессточных крупных водоемов целесообразно пользоваться крупномасштабными типами атмосферной циркуляции, являющимися по существу крупными звеньями общей циркуляции атмосферы и представляющими собой определенные состояния и взаимодействие основных центров действия атмосферы.

Наиболее общеизвестной и физически осмысленной из таких типизаций, широко применяемой в гидрометеорологических исследованиях и в прогнозировании, является типизация по Вангенгему [7]. Она выгодна еще и тем, что каталог расчленения атмосферных процессов по этой системе охватывает период более 80 лет.

В этой системе типизации различаются три макротипа процессов — широтный (*W*) и два противоположных друг другу меридиональных (*C* и *E*) типа. Подробная характеристика погодных условий, в частности в Казахстане, при этих типах подробно изложена в работах автора [3, 4]. Поэтому здесь есть необходимость остановиться лишь на самых общих чертах их.

На рис. 2 приведены главные пути воздушных течений на высотах (3—5 *км*) при разновидностях трех упомянутых типов циркуляции. Планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ), т. е. зона максимальных термобарических контрастов и кинетической энергии атмосферной циркуляции, при широтном типе (далее будем обозначать буквой *Ш*) располагается либо почти строго в широтном направлении, либо в виде сравнительно небольших волн (малой амплитуды и большой длины), смещающихся быстро с запада на восток.

В различные стадии своего развития широтная циркуляция своей главной фронтальной зоной, отделяющей арктические массы воз-

духа, расположенные к северу от нее, от более теплых воздушных масс, расположенных к югу от нее, находится на разных широтах, смещаясь обычно с севера на юг (*Ш*1, *Ш*2, *Ш*3). Таким образом, широтная (зональная) циркуляция характеризуется непрерывным процессом накопления холода на севере (севернее ПВФЗ), увеличения контрастов во фронтальной зоне и смещения этой фронтальной зоны к югу. Широтное кольцо ПВФЗ, формируясь в высоких широтах, постепенно расширяется и, достигая более низких широт, более или менее скачкообразно преобразуется в меридиональную форму со стоячими крупномасштабными волнами (см. на рис. 2 положения ПВФЗ, обозначенные *С*1, *С*2, *Е*1, *Е*2).

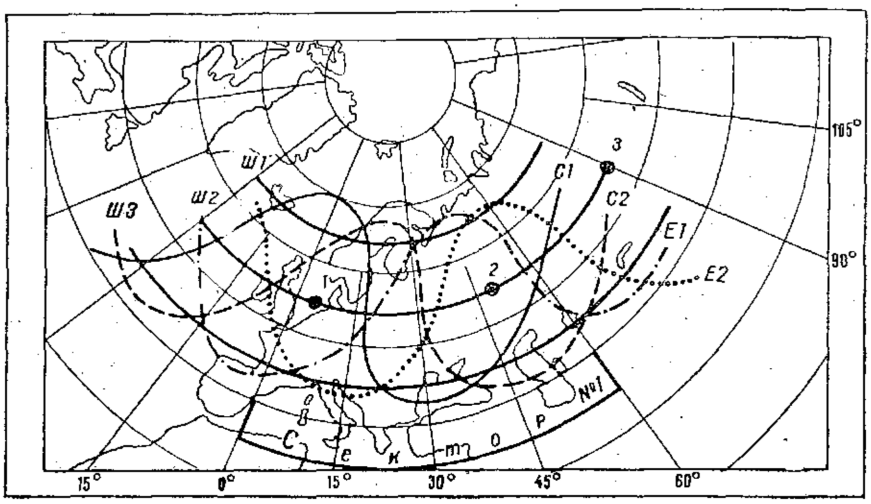



Рис. 2. Положение ПВФЗ при подтипах атмосферной циркуляции

Упомянутые конфигурации ПВФЗ по существу отражают различные термические состояния воздушных масс. При широтных процессах изобарические поверхности опускаются с юга на север, обнаруживая резкий перепад во фронтальной зоне, имеющей ширину обычно 500—1000 *км*. Причем в этой сравнительно узкой фронтальной зоне концентрируется до 60—70% общего температурного контраста между полярными и низкими широтами.

Под меридиональным типом циркуляции с индексом *С*, характеризуемым скандинавскими и сибирскими отрогами ПВФЗ к северу, понимаются такие положения, когда изобарические поверхности (характеризующие термику воздушных масс) приподняты (тепло) над Западной Европой и Западной Сибирью и Казахстаном и опущены (холод) над европейской территорией СССР. Оси западных высотных гребней при этом типе располагаются между меридианом 0—30° в. д., причем при подтипе *С*1 — между 0—15°, а при подтипе *С*2 — между 15—30° в. д. (рис. 2).

Характер распределения высот изобарических поверхностей

(очагов тепла и холода) при меридиональных процессах типа *Е* противоположен тому, который мы описали для типа *С*. Критерием для отнесения меридионального процесса к типу *Е* является расположение оси высотного гребня, оконтуриваемого линией ПВФЗ, между меридианами 30 и 60° в. д.

Следовательно, смена термобарических полей при двух меридиональных типах циркуляции отражает термобарические сейши, формируемые в результате расчленения подстилающей поверхности на континенты и океаны.

Что касается смен зональной циркуляции на меридиональную вообще и обратно, то они характеризуют физический механизм тепловой машины с холодильником на севере и нагревателем на юге. Единый цикл такого процесса с двумя фазовыми состояниями (зональной и меридиональной), названный нами в 1948 г. планетарным циркуляционным процессом (ПЦП), отражает одну из важнейших закономерностей преобразования общей циркуляции атмосферы и имеет первостепенное прогностическое значение.

Планетарный циркуляционный процесс может быть охарактеризован как цикл планетарного индекса атмосферной циркуляции, как перепад колебания интенсивности зональной составляющей циркуляции от максимальных к минимальным ее значениям. Этот промежуток времени, средняя продолжительность которого равна 22 дням, можно рассматривать как период релаксации турбулентных волн.

Планетарный циркуляционный процесс является элементарной единицей планетарной цикличности. Следующим по масштабу атмосферно-циркуляционным циклом является естественный синоптический год (ЕСГ), за которым следует эпохально-синоптический цикл длительностью около 40 лет.

Выше уже отмечалось, что при зональной циркуляции над Казахстанско-Среднеазиатским регионом наблюдается перемещение барических систем и воздушных масс в восточном направлении. При этом численные значения метеорологических элементов, как правило, близки к многолетним своим значениям. Однако в зимнее полугодие и особенно при подтипе *Ш*3 циркуляции здесь количество осадков превышает норму.

На рис. 3 приведено количество осадков в летние месяцы в процентах нормы, где видно, что при процессах *Ш*2 в Казахстане количество осадков в общем ниже нормы (особенно в центральных его районах, где осадки составляют 20—40% нормы), но к северным районам республики и на территории средних и верхних течений рек Амударьи и Сырдарьи они составляют 80—100% и более.

При типе *С* циркуляции над большей частью Казахстанско-Среднеазиатского региона количество осадков меньше нормы за исключением бассейна Урала, где они больше нормы. Наконец, при преобладании типа *Е* меридиональной циркуляции осадки летом меньше нормы на западе Казахстана и больше нормы над всей остальной частью территории региона, причем над Павлодарской и Семипалатинской областями до 140% нормы. В переходные сезоны

при этом типе циркуляции изогиеты несколько смещаются к западу по сравнению с тем, которое показано на рис. 3.

Естественно, что отдельные случаи процессов любого из трех типов атмосферной циркуляции могут обусловливать погоду, отличающуюся от упомянутой, но это в основном связано не с погрешностями принципа классификации, а скорее особенностями истории преобразования типов циркуляции и аномалиями их интенсивности. Тем не менее итоговые характеристики погоды (за месяцы, сезоны и годы) этих типов отличаются друг от друга весьма существенно. В связи с этим можно сказать, что отклонения повторяемости трех типов циркуляции от их многолетних значений четко отражают колебания погоды и климата.

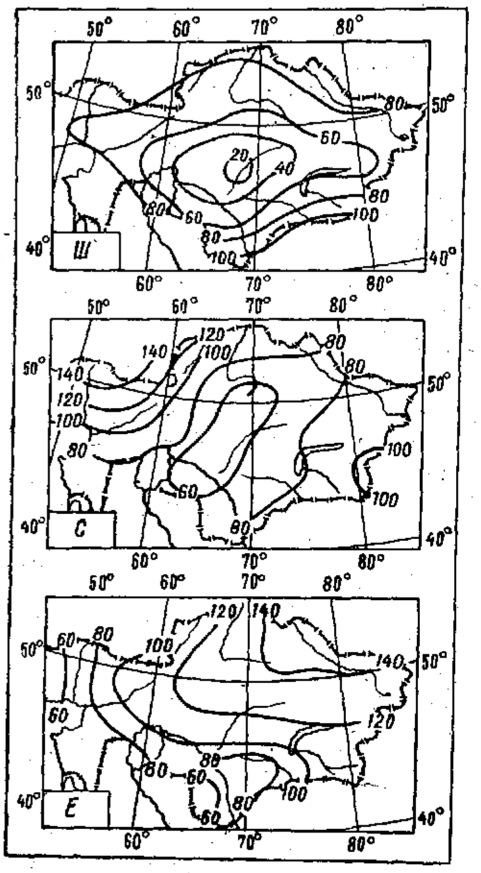



Рис. 3. Аномалия месячных сумм осадков в июне—августе (%)

В табл. 1 приведено среднее многолетнее число дней за месяц с тремя типами атмосферной циркуляции. Видно, что число дней в большинстве месяцев с каждым типом близко к 10. Заметное неравенство отмечается только в марте и в августе. За год наибольшей повторяемостью характеризуется тип *С* циркуляции и наименьшим тип *Ш*.

Путем сопоставления фактического числа дней с нормами можно определить преобладающий тип того или иного месяца, сезона или года. Так, если в июне какого-то года наблюдалось шесть дней с типом *Ш*, 19 дней с *С* и пять дней с типом *Е*, то аномалия их будет равна соответственно —2, +6, —4 дня, а индекс месяца можно записать $C_6$, что означает доминирование в этом месяце типа *С* циркуляции при положительной аномалии его повторяемости в шесть дней.

Естественно, что чем больше аномалия повторяемости доминирующего типа, тем ближе среднемесячные характеристики погоды к типовым значениям, о которых говорилось выше.

По годовым индексам атмосферной циркуляции можно выделить длительные периоды преобладания того или иного типа. Такие периоды, изучаемые в последнее время многими авторами, име-

*Таблица 1*

**Многолетнее среднее число дней с тремя типами атмосферной циркуляции**

| Тип циркуляции | Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| *Ш* | 9 | 9 | 11 | 10 | 9 | 8 | 10 | 8 | 9 | 10 | 9 | 10 | 112 |
| *С* | 11 | 10 | 14 | 10 | 12 | 13 | 11 | 10 | 11 | 11 | 10 | 11 | 134 |
| *Е* | 11 | 9 | 6 | 10 | 10 | 9 | 10 | 13 | 10 | 10 | 11 | 10 | 119 |

ют продолжительность порядка 8—13 лет и называются циркуляционными эпохами.

Для того, чтобы представить себе роль циркуляционных эпох в колебаниях климата приведем несколько примеров. Так, если в эпохи типа *С* в районах нижнего течения Амударьи и Сырдарьи средняя январская температура воздуха равна +2°, то в эпохи *Е* она равна —13°. Следовательно, при смене одной меридиональной эпохи на другую скачок средней январской температуры составляет 15°. Существенные различия между эпохами этих типов циркуляции наблюдаются также и в других метеорологических элементах. Для бассейнов Амударьи и Сырдарьи осадки таких эпох отличаются почти вдвое. Особенно велики (до двух-трех раз) эти различия для районов верхнего течения этих рек.

Вышеизложенное о циркуляционных условиях бассейна Аральского моря дает основание связывать колебания климата и уровня Аральского моря с многолетними колебаниями повторяемости трех типов атмосферной циркуляции. При этом необходимо иметь в виду, что, как показано в работах автора [1—5], границы циркуляционных эпох определяются достаточно объективно на основе связи их с солнечной активностью.

Линейка преобразования циркуляционных эпох за период с 1891 по 1961 г. приведена на рис. 4, на котором указаны эпохи по годовым данным (*I*) и (*II*) по данным за сезон второй половины лета (VII—VIII).

Весьма важным в изучении циркуляционных эпох является попытка их прогнозирования, которая осуществлялась автором уже длительное время. В целях такого прогнозирования, а также в целях объяснения колебаний сезонных гидрометеорологических характеристик изучались также так называемые сезонные эпохи, т. е. эпохи, выделяемые по данным повторяемости типов циркуляции в отдельных сезонах в последовательном ряду лет.

Выявлено, что в эпоху того или иного типа отдельные сезоны года могут иметь циркуляционный индекс, отличающийся от индекса эпохи, определенной по годовым данным. Так, например, в эпоху широтной циркуляции 1919—1928 гг. сезон второй половины лета

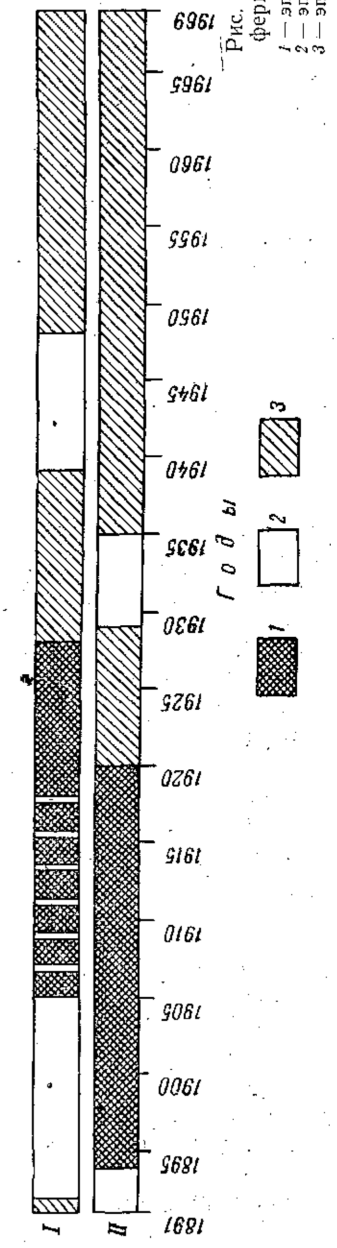



Рис. 4. Эпохи атмосферной циркуляции: *1* — эпоха циркуляции *Ш*; *2* — эпоха циркуляции *С*; *3* — эпоха циркуляции *Е*

характеризовался циркуляцией типа *Е*. Поэтому при объяснении колебаний характеристик гидрометеорологического режима второй половины лета целесообразно пользоваться сезонными эпохами. Это обстоятельство в равной степени касается и других сезонов года. Однако учет сезонных эпох циркуляции этим не ограничивается.

Установлено, что тип циркуляционной эпохи годового значения аналогичен типу второй половины лета, которая наблюдалась в предшествующей годовой эпохе. Это обстоятельство наглядно показано на рис. 4. В эпоху 1892—1905 гг. с типом *С* циркуляции вторая половина лета имела индекс типа *Ш*, что стало затем общегодовым индексом в эпоху 1906—1917 гг. В эпоху 1906—1917 гг. вторая половина лета продолжала характеризоваться тем же индексом, а годовая эпоха 1919—1928 гг. повторила этот индекс.

В последней эпохе вторая половина лета имела индекс типа *Е*, что стало затем характерным для годовой эпохи 1929—1939 гг. В 1940—1948 гг. тип годовой эпохи повторил тип второй половины лета предыдущей эпохи по годовым данным и т. д.

Эта закономерность преобразования эпох является не единственным основанием для их прогнозирования. Из анализа сменяемости основных эпох очевидно, что их закономерность сходна с закономерностью преобразования типов процессов в системе циклов ПЦП и ЕСГ, т. е. после двух-трех меридиональных эпох следует эпоха с преобладанием зональной циркуляции.

Если границы циркуляционных эпох совпадают с максимумами одиннадцатилетних циклов солнечной активности, а внутри этих солнечных циклов, т. е. в годы минимума, наблюдается наибольшая устойчивость того или иного господствующего типа циркуляции, то этого нельзя сказать в отношении вековых циклов солнечной активности. Поэтому преобладающая форма циркуляции в последних мо-

*Таблица 2*

**Циркуляционная структура вековых циклов солнечной активности**

| Годы векового цикла | Повторяемость лет с различными индексами (%) | | | Повторяемость эпох циркуляции различного типа (число случаев) | | | Преобладающий тип циркуляции в цикле |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Ш* | *С* | *Е* | *Ш* | *С* | *Е* | |
| 1700—1739 | (33) | (67) | (0) | 1 | 2 | 0 | *С* |
| 1740—1812 | 23 | 26 | 51 | 2 | 2 | 3 | *Е* |
| 1813—1905 | 25 | 50 | 25 | 2 | 4 | 2 | *С* |
| 1906—2013 | (20) | (23) | (57) | 2 | 1 | 3 | *Е* |

Примечание. Данные, приведенные в скобках, относятся только к части векового цикла.

жет определяться путем подсчета числа лет в процентах с каждым типом циркуляционного индекса, а также путем подсчета числа циркуляционных эпох с типом *Ш, С, Е*. Итоги такого анализа приведены в табл. 2, из которой следует, что преобладающими формами циркуляции в вековых циклах являются только меридиональные, которые чередуются друг за другом по типу. Правда, этот вывод является приближенным, ибо количество вековых циклов очень мало.

Можно думать, что вековые циклы с преобладающей формой *W* атмосферной циркуляции возможны около максимумов 1800-летних циклов солнечной активности. В промежутке между этими максимумами широтная циркуляция сравнительно недолговременный процесс.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. Гидрометеоиздат. Л., 1971.
2. Байдал М. Х. Диагностико-прогностическое значение геоклиматического цикла. Труды КазНИГМИ, вып. 51, 1971.
3. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. I и II. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
4. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. III. Гидрометеоиздат. Л., 1965.
5. Байдал М. Х. Эпохальные особенности атмосферной циркуляции и связанные с ними явления. Труды КазНИГМИ, вып. 10, 1959.
6. Будыко М. И. Изменения климата. Гидрометеоиздат. Л., 1969.
7. Вангенгейм Г. Я. Предсказание сезонных распределений метеорологических элементов, Изв. АН СССР, серия географ. и геофиз., № 3, 1941.
8. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Гидрометеоиздат. Л., 1971.
9. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. Наука. М.—Л., 1964.
10. Эйгенсон М. С., Рубашев Б. М., Гневышев М. Н., Оль А. И. Солнечная активность и ее земные проявления. ОГИЗ. 1948.
11. Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Гидрометеоиздат. Л., 1963.

*И. И. ПРОХОРОВ*

# ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ПЛОЩАДИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Изучаемая территория находится в зоне континентального субтропического климата, занимая почти крайнее северное положение. Господствующими климатообразующими факторами следует считать солнечную энергию и атмосферную циркуляцию. Среднее годовое значение суммарной радиации здесь составляет 142 *ккал/см²* [6].

В течение V—VIII месяцев поступает 53% годового количества солнечной радиации, а в период IV—IX — 72%.

В табл. 1 приведены дневные и среднемесячные значения суммарной радиации в *кал/см²* и *ккал/см²*.

*Таблица 1*

**Суммарная радиация. Аральское море**

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Дневные *кал/см²* | 151 | 260 | 354 | 478 | 623 | 656 | 610 | 557 | 437 | 265 | 155 | 118 | — |
| Месячные *ккал/см²* | 4,6 | 7,3 | 10,9 | 14,3 | 19,3 | 19,7 | 18,9 | 17,3 | 13,1 | 8,2 | 4,6 | 3,6 | 142,0 |

Одной из причин сухой и жаркой погоды в Приаралье в летний период является изобилие солнечной радиации.

Большую роль в формировании климата Приаралья играют и атмосферные процессы. В зимний период северные и северо-западные холодные вторжения, как правило, вызывают резкие понижения температуры воздуха. Западные вторжения сопровождаются осадками, нередко ливневого характера. Северные и северо-западные переносы в летнее время несколько смягчают высокие температуры.

Отмеченные факторы в данном районе являются основными климатообразующими, они останутся самыми действенными независимо от того, сохранится Аральское море как водный бассейн или исчезнет. Микроклиматические особенности района должны претерпеть некоторые изменения, если уровень моря понизить на

*Таблица 2*

**Средние месячные и годовые значения температуры воздуха и амплитуда**

| Станция | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год | Амплитуда |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Актумсук каз. | —11,1 | —10,9 | —3,0 | 10,1 | 18,3 | 23,9 | 26,5 | 24,7 | 17,0 | 8,1 | —1,6 | —8,2 | 7,8 | 37,6 |
| Актумсук узб. | —7,5 | —7,9 | —2,0 | 6,5 | 15,3 | 21,9 | 25,2 | 24,4 | 18,7 | 10,5 | 3,6 | —1,8 | 8,9 | 33,1 |
| Аяк-Кум | —13,2 | —12,6 | —4,2 | 8,8 | 17,3 | 23,3 | 25,9 | 23,8 | 16,4 | 7,2 | —1,6 | —8,4 | 6,9 | 39,1 |
| Аральское море | —18,4 | —12,2 | —4,2 | 8,3 | 17,4 | 23,6 | 26,1 | 24,1 | 17,2 | 7,8 | —2,0 | —9,2 | 7,0 | 39,5 |
| Амударьинская уст. | —7,0 | —5,5 | 0,6 | 10,3 | 18,2 | 22,7 | 25,1 | 23,7 | 17,4 | 9,4 | 2,6 | —3,4 | 9,5 | 32,1 |
| Барсакельмес | —9,0 | —9,4 | —3,0 | 6,5 | 15,3 | 22,0 | 25,3 | 24,4 | 19,2 | 11,6 | 3,5 | —3,7 | 8,6 | 34,7 |
| Возрождение, о. | —8,3 | —8,2 | —2,2 | 6,5 | 15,2 | 21,9 | 25,2 | 24,4 | 19,1 | 11,2 | 3,9 | —1,9 | 8,9 | 33,5 |
| Карак | —10,7 | —8,7 | 0,0 | 11,1 | 19,3 | 24,8 | 27,6 | 24,9 | 17,7 | 8,4 | —0,8 | —7,9 | 8,8 | 38,3 |
| Косбулак | —8,8 | —8,4 | —0,6 | 9,8 | 17,7 | 23,4 | 26,0 | 24,4 | 17,5 | 8,6 | 1,0 | —4,4 | 8,8 | 34,8 |
| Кунград | —6,7 | —4,7 | 2,0 | 11,3 | 18,9 | 23,2 | 25,3 | 23,6 | 17,7 | 9,8 | 2,2 | —3,6 | 9,9 | 32,0 |
| Казалинск | —11,3 | —9,8 | —1,8 | 10,2 | 18,7 | 23,9 | 26,0 | 23,8 | 17,0 | 8,2 | —0,9 | —7,8 | 8,0 | 37,3 |
| Кзыл-Орда | —9,6 | —7,5 | 0,5 | 11,2 | 18,8 | 23,6 | 24,6 | 22,5 | 15,8 | 7,8 | —0,6 | —7,0 | 8,3 | 34,2 |
| Мансыр | —13,6 | —12,2 | —3,6 | 9,7 | 18,5 | 24,2 | 26,5 | 24,2 | 16,7 | 7,3 | —2,4 | —9,6 | 7,1 | 40,1 |
| Муйнак | —7,1 | —6,2 | 0,0 | 8,5 | 17,3 | 23,2 | 25,9 | 24,7 | 19,3 | 11,1 | 3,7 | —2,7 | 9,8 | 33,0 |
| Нукус | —6,4 | —3,8 | 3,3 | 12,7 | 20,5 | 25,1 | 27,1 | 24,6 | 18,5 | 10,2 | 2,0 | —4,0 | 10,8 | 33,5 |
| Сам | —9,1 | —8,4 | —1,4 | 10,1 | 18,5 | 24,2 | 27,0 | 25,2 | 18,0 | 8,7 | 0,2 | —5,7 | 8,0 | 36,1 |
| Саксаульская | —13,8 | —12,8 | —4,5 | 9,1 | 18,4 | 24,2 | 26,8 | 24,5 | 17,2 | 7,5 | —2,2 | —9,8 | 7,0 | 40,6 |
| Тигровый | —7,0 | —6,8 | —1,0 | 6,4 | 15,9 | 22,5 | 25,7 | 24,9 | 20,0 | 12,1 | 4,7 | —1,9 | 9,6 | 32,7 |
| Уялы | —8,4 | —7,7 | —1,2 | 8,2 | 16,8 | 22,4 | 25,4 | 24,6 | 19,5 | 11,5 | 2,4 | —4,9 | 9,0 | 33,8 |
| Чиили | —7,2 | —4,8 | 3,0 | 13,0 | 20,0 | 24,3 | 26,1 | 23,9 | 17,3 | 9,2 | 0,9 | —5,2 | 10,0 | 33,3 |
| Чирик-Рабат | —9,1 | —7,0 | 1,0 | 12,0 | 20,2 | 25,5 | 28,3 | 25,4 | 18,2 | 9,2 | —0,1 | —7,0 | 9,7 | 37,4 |
| Чурук | —9,8 | —8,9 | —1,4 | 9,5 | 17,5 | 23,4 | 26,2 | 24,1 | 17,0 | 7,6 | 0,1 | —5,0 | 8,4 | 36,0 |

10 *м*, при условии полного исчезновения моря произойдут значительные сглаживания имеющегося микроклиматического фона. В настоящее время море создает вокруг себя и над своей поверхностью климат, заметно отличающийся от окружающих пустынь, правда зона влияния невелика.

В табл. 2 приведены средние месячные и годовые значения температуры воздуха и их амплитуды по 22 гидрометстанциям.

В табл. 2 помещены гидрометстанции, расположенные на островах, непосредственно на побережье и на различном удалении от берега моря. Удаленные от берега пункты находятся в различных условиях — в пустыне, в обширных полупустынных районах и в районах с развитым поливным земледелием. Такое расположение пунктов позволяет выявить влияние моря и деятельности человека на микроклиматический режим.

*Таблица 3*

**Годовые амплитуды и их разности для пар гидрометстанций континентальных и морских**

| Станции морские | Амплитуда, *град* | Станции континентальные | Амплитуда, *град* | Континент—море (разность) | Примерное расстояние от берега моря, *км* | Направление от берега моря |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Барсакельмес | 34,7 | Казалинск | 37,3 | 2,6 | 65 | В |
| Барсакельмес | 34,7 | Актумсук каз. | 37,6 | 2,9 | 160 | СЗ |
| Возрождение, о. | 33,5 | Актумсук уз. | 33,1 | —0,4 | 80 | ЮЗ |
| Возрождение, о. | 33,5 | Актумсук каз. | 37,6 | 4,1 | 160 | СЗ |
| Уялы | 33,8 | Карак | 38,3 | 4,5 | 120 | В |
| Муйнак | 33,0 | Косбулак | 34,8 | 1,8 | 125 | ЮЗ |
| Муйнак | 33,0 | Нукус | 33,5 | 0,5 | 110 | Ю |
| Муйнак | 33,0 | Чурук | 36,0 | 3,0 | 100 | З |
| Барсакельмес | 34,7 | Аральское море | 39,5 | 5,8 | 0 | ССВ |
| Уялы | 33,8 | Кзыл-Орда | 34,2 | 0,4 | 280 | В |
| Барсакельмес | 34,7 | Сам | 36,1 | 1,4 | 250 | З |
| Уялы | 33,8 | Чиили | 33,3 | —0,5 | 425 | ЮВ |
| Уялы | 33,8 | Чирик-Рабат | 37,4 | 3,6 | 125 | ЮВ |

В табл. 3 приведены значения годовых амплитуд пар станций, расположенных на островах, непосредственно на побережье и на различных удалениях от берега так, что каждой приморской станции противопоставляется континентальная станция. В качестве оценочного критерия взята разность годовой амплитуды континентальной станции и морской или береговой. Рассматривая табл. 3, можно заметить, что наименьшие разности амплитуд наблюдаются между станциями, расположенными в зонах интенсивного поливного земледелия, как Кзыл-Орда, Чиили, Нукус. Станции Чирик-Рабат и Карак расположены значительно ближе к берегу моря, но находятся в пустынных, мало обжитых районах, разности амплитуд на этих пунктах наблюдаются большие.

Из вышеизложенного можно сделать предположение, что дея-

тельность человека, проявляющаяся в освоении полупустынных земель и в превращении их в поливные, создает микроклиматические условия, подобные тем, какие может создать естественный водный бассейн, равный Аральскому морю. Это вполне объяснимо, так как суммарное испарение с хорошо развитой растительности и достаточно увлажненной почвы больше, чем с водной поверхности. Большой расход тепла на испарение снижает летние температуры по сравнению с пустынными районами.

Можно с достаточной достоверностью предположить, что уменьшение площади Аральского моря или его полное исчезновение, при условии орошения значительных площадей, не вызовет изменения микроклиматических условий в сторону их ожесточения, а наоборот, можно ожидать изменения в сторону комфорта, особенно в южных районах.

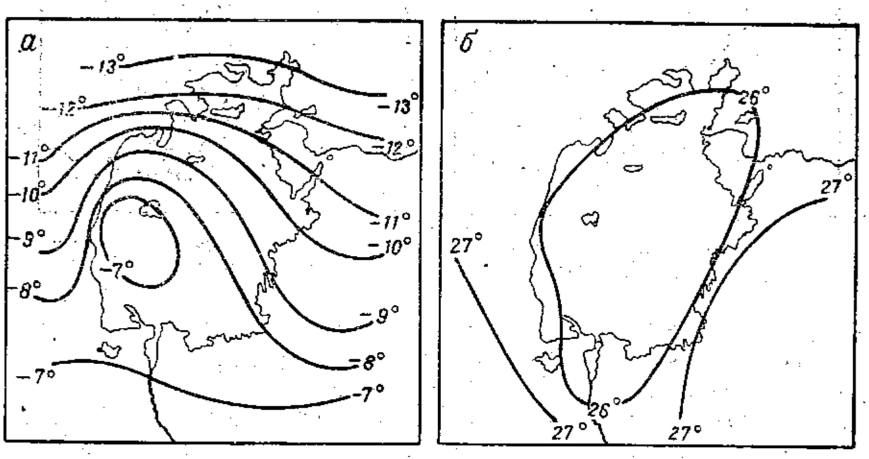



Рис. 1. Средняя месячная температура воздуха:
*а* — январь, *б* — июль (по О. М. Житомирской)

Общеклиматический температурный режим исследуемого района не имеет выделяющихся особенностей, а имеет лишь некоторые отличия на общем фоне. Ниже приведены схематические карты распределения средних месячных температур воздуха за январь и июль по О. М. Житомирской [1]. В январе северную часть моря ограничивает изотерма —13°, а южную — 7°, причем изотерма —7° оконтуривает большое поле в южной части моря (рис. 1а). Значительный прогиб к северу имеют изотермы — 8 и —9°. Отепляющее действие моря зимой имеет место, но оно ограничено самим бассейном моря и узкой прибрежной полосой 20—30 *км*.

В случае понижения уровня моря на 10 *м*, объем воды в нем уменьшится вдвое, а значит, уменьшатся и его теплозапасы. Можно ожидать, что изотермы выравниваются в сторону юга, поле со средней месячной температурой —7° исчезнет, возможно, что появится подобное поле с температурой —8°.

Летнее влияние моря еще слабее выражено, что следует из рис. 1 *б*, где приведены значения средних месячных температур июля. В этот период над всей поверхностью моря имеет место однородное температурное поле, равное 26°. От широты 45° и южнее проходит изотерма 27°, которая имеет прогиб до широты 42°. С уменьшением на 1/3 площади моря и на 1/2 его объема (это произойдет при понижении уровня на 10 *м*) температурное поле 26° должно разрушиться, изотерма 27°, видимо, пересечет южную часть моря, а изотерма 26° — северную.

Представляет интерес рассмотреть влияние Аральского моря на экстремальные значения температуры воздуха. На рис. 2а при-

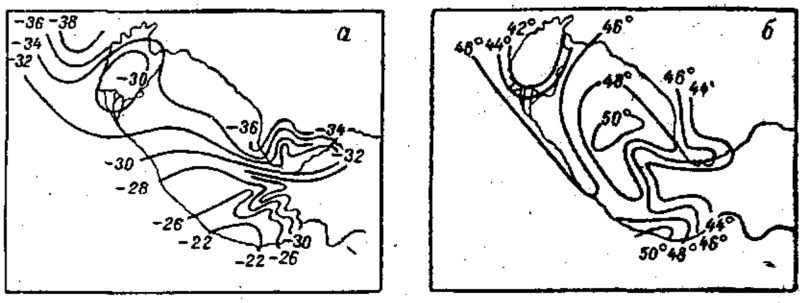



Рис. 2. Абсолютный минимум (*а*) и абсолютный максимум (*б*) температуры воздуха. (Справочник по климату СССР, вып. 19, ч. II)

ведены абсолютные минимальные температуры, наблюдаемые в исследуемом районе. Из рисунка следует, что море оказывает влияние и на проявление минимальных температур, но сугубо локальное. При уменьшении площади водной поверхности и объема воды должны произойти изменения в сторону понижения температуры воздуха над морем. Надо полагать, что поле с минимальной температурой воздуха —30° исчезнет и сменится температурой —32°. Характер распределения абсолютных максимальных температур показан на рис. 2б, где также видно местное влияние моря, которое уменьшится с уменьшением объема моря.

С целью оценки текущего метеорологического режима в исследуемом районе на фоне многолетнего режима, рассмотрим многолетний ход температуры воздуха на материалах окружающих станций, имеющих большие ряды метеорологических наблюдений.

На рис. 3 приведены средние годовые температуры воздуха по скользящим десятилетиям по гидрометстанциям Ташкент и Казалинск.

Рассматривая ход температуры воздуха относительно среднего значения, сглаженного по десятилетиям, можно для Ташкента и Казалинска весь ряд лет разделить на теплые и холодные периоды. Так, период до 1902 г. следует считать более холодным, с 1903 по 1914 г. — холодный, с 1915 по 1930 г. — теплый, с 1931 по 1940 г. — холодный, с 1941 по 1950 г. — теплый, с 1951 по 1960 г. — холодный и с 1964 г.—теплый. Последний период, в ко-

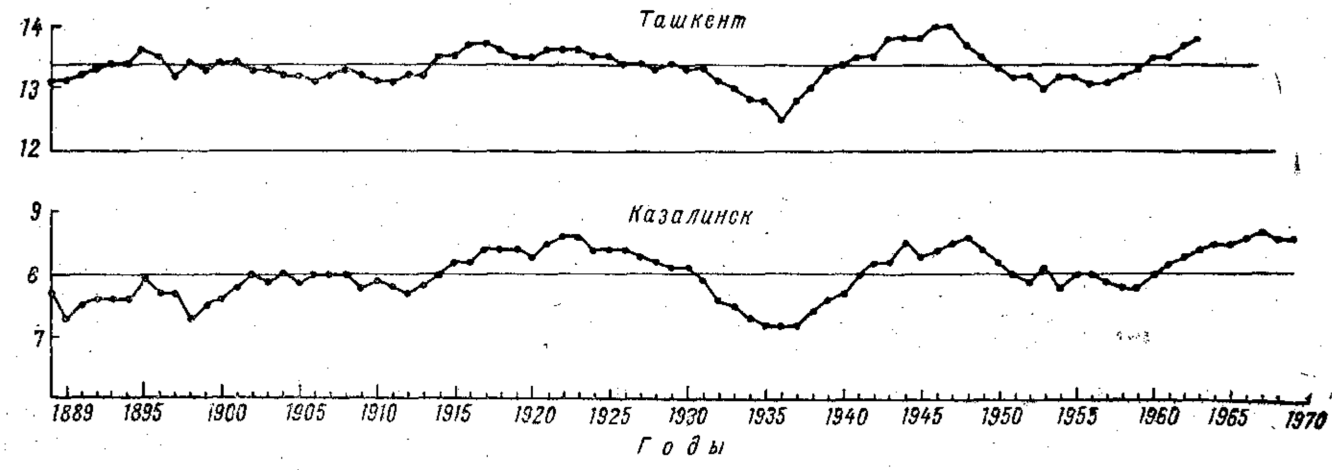



Рис. 3. Многолетний ход средних годовых скользящих 10-летних температур воздуха

тором мы живем, заканчивается. Можно весьма приближенно предположить, что в 1971—72 гг. теплый период закончится и наступит холодный.

Тепловой режим года, ряда лет или конкретного района обычно оценивается средними годовыми температурами воздуха. Тепловой режим летнего периода эффективно оценивается суммой температуры воздуха выше определенного предела. Эти два критерия не могут быть равнозначными во всех случаях. Год в целом может быть холодным, если считать по значению средней годовой температуры воздуха, но это могло быть за счет холодной зимы, а летние температуры могли быть высокими. Чтобы убедиться, насколько часты такие случаи, мы воспользовались информацией гидрометстанции Ташкент, по которой имеются данные о суммах температур воздуха $\geqslant 10°$ и средних годовых температурах воздуха за периоды с 1889 по 1959 г.

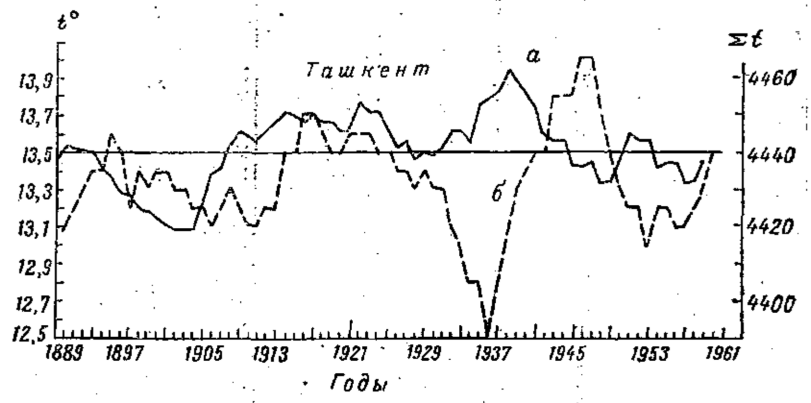



Рис. 4. Сопоставление средних годовых скользящих по 10-летиям температур воздуха и сумм температур $\geqslant 10°$:
*а* — средние годовые, *б* — сумма $> 10°$

На рис. 4 показан многолетний ход этих характеристик, где видно, что в отдельные периоды они имеют противоположный ход. Видимо, народное предположение, что холодной зиме соответствует жаркое лето, нередко оправдывается.

**Температура почвы.** В летний период температуру верхнего слоя почвы более наглядно оценивать средней температурой слоя почвы 5—20 *см*. Такая оценка меньше зависит от особенностей самой воспринимающей поверхности. Для сравнительной оценки температуры почвы в исследуемом районе воспользуемся информацией с мая по сентябрь. Ниже в табл. 4 приведены соответствующие данные по пяти гидрометстанциям.

По данным табл. 4 можно сделать вывод, что нагрев верхнего 20-сантиметрового слоя почвы по всей территории значительный, особенно в Чирик-Рабате. Вместе с тем температура верхнего слоя почвы распределяется по территории довольно равномерно, только

*Таблица 4*

**Средняя месячная температура почвы в слое 5—20 *см* по коленчатым термометрам**

| Станция | Месяц | | | | | Средняя за лето |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | V | VI | VII | VIII | IX | |
| Аральское море | 19,9 | 26,3 | 29,1 | 27,2 | 17,8 | 24,1 |
| Барсакельмес | 18,4 | 25,2 | 28,4 | 27,4 | 21,7 | 24,2 |
| Кзыл-Орда | 19,8 | 24,8 | 28,9 | 25,0 | 18,6 | 23,4 |
| Сам | 19,2 | 25,5 | 28,6 | 27,2 | 20,5 | 24,2 |
| Чирик-Рабат | 22,0 | 28,1 | 31,2 | 28,6 | 21,4 | 26,2 |
| Средняя по территории | 19,8 | 25,9 | 29,2 | 27,1 | 20,0 | 24,4 |

районы Чирик-Рабата, как пустынного, и Барсакельмеса, островного, заметно отличаются по температуре верхнего слоя почвы от соответствующих средних значений для всей территории.

Характер распределения температуры почвы по глубинам до 3,2 *м* представлен табл. 5, из которой следует, что температура почвы до этой глубины распределяется по территории довольно равномерно, даже на острове различия невелики.

Представляет несомненный интерес характеристика проникновения температуры 0° в почву и промерзание почвы. Соответствующую информацию приводим в табл. 6. Глубина проникновения температуры 0° в почву по территории значительная, на о. Барсакельмес больше 200 *см*, в районе Саксаульской около 200 *см*, только в районе Аральского моря меньше 200 *см*. Промерзание почвы и проникновение температуры 0° в почву — понятия различные, и их не следует смешивать.

Эти значения близки друг к другу только при хорошо увлажненной почве. Сухая почва может охлаждаться до 0° очень глубоко, до двух и более метров, но оставаться незамерзшей [6, 7].

**Влажность воздуха.** Влажность воздуха над исследуемой территорией обусловлена адвективными переносами. Приземное влагоподпитывание за счет испарения невелико, по данным О. Д. Кодрау составляет 2% годового количества, переносимого над территорией водяного пара. В приземном слое доля местного пара будет несколько больше, но все же степень насыщения воздуха водяными парами остается низкой. Доля осадков, выпадающих за счет местного пара, по отношению к осадкам, выпадающим за счет адвективного пара, в исследуемом районе тоже мала. В табл. 7 приведены помесячные и годовые значения коэффициента влагооборота $K$, адвективных и местных осадков $Va$, $Ve$ и $E$ испарения.

Коэффициент $K$ представляет собой отношение всей суммы осадков к осадкам из пара, принесенного извне. Этот коэффициент для различных районов СССР колеблется в пределах от 1,01 до 1,19. Это значит, что доля осадков из местного пара не превышает 19%. Из табл. 7 следует, что в исследуемом районе коэффициент

**Температура почвы**

| Глубина, *м* | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Сакса |
| 0,2 | —7,9 | —5,6 | —2,6 | 9,4 | 19,5 | 25,6 |
| 0,4 | —6,4 | —4,9 | —2,1 | 7,8 | 18,5 | 24,4 |
| 0,6 | —4,9 | —4,3 | —2,0 | 5,4 | 16,7 | 22,0 |
| 0,8 | —3,3 | —3,3 | —1,5 | 5,0 | 14,6 | 20,5 |
| 2,4 | 6,2 | 4,1 | 3,4 | 4,1 | 7,6 | 11,7 |
| 3,2 | 8,4 | 6,2 | 5,1 | 5,0 | 6,9 | 9,9 |
| | | | | | | Аральское |
| 0,2 | —5,9 | —4,6 | —0,9 | 9,3 | 19,0 | 24,9 |
| 0,4 | —4,8 | —3,5 | —0,3 | 8,1 | 17,1 | 22,9 |
| 0,8 | —2,1 | —1,8 | 0,2 | 6 6 | 14,8 | 20,3 |
| 1,6 | 2,7 | 1,3 | 2,0 | 5,0 | 11,1 | 15,9 |
| 3,2 | 8,5 | 6,6 | 5,5 | 5,7 | 8,2 | 11,4 |
| | | | | | | Барса |
| 0,2 | —4,9 | —3,9 | —0,6 | 8,4 | 18,5 | 25,2 |
| 0,4 | —3,4 | —2,9 | —0,3 | 7,8 | 17,3 | 23,9 |
| 0,8 | —0,4 | —1,2 | 0,3 | 6,4 | 14,6 | 20,8 |
| 1,6 | 4,7 | 2,8 | 2,6 | 5,2 | 10,6 | 16,0 |
| 3,2 | 10,7 | 8,6 | 7,2 | 7,0 | 8,3 | 11,0 |

*Таблица 6*

**Средняя, наибольшая и наименьшая глубина (*см*) проникновения температуры 0° в почву под естественным покровом**

| Глубина проникновения | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Саксаульская | | | | | |
| Средняя | 0 | 44 | 88 | 134 | 146 | 136 | 87 | 0 | |
| Наибольшая | 0 | 78 | 126 | 158 | 172 | 191 | 197 | 0 | |
| Наименьшая | 0 | 0 | 59 | 116 | 107 | 68 | 0 | 0 | |
| | | | | Аральское море | | | | | |
| Средняя | 0 | 38 | 95 | 130 | 133 | 118 | — | 0 | |
| Наибольшая | 0 | 77 | 142 | 158 | 158 | 160 | 122 | 0 | |
| Наименьшая | 0 | 0 | 55 | 114 | 115 | 80 | 0 | 0 | |
| | | | | Барсакельмес | | | | | |
| Средняя | 0 | 25 | 66 | 105 | 117 | 97 | — | 0 | |
| Наибольшая | 0 | 60 | 129 | 137 | 179 | 216 | 112 | 0 | |
| Наименьшая | 0 | 0 | 39 | 84 | 78 | 0 | 0 | 0 | |

Примечание. Тире означает, что нет информации.

*Таблица 5*

**на глубинах**

| VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ульская | | | | | | |
| 27,8 | 26,3 | 20,2 | 10,7 | 1,2 | —4,4 | 10,0 |
| 26,6 | 25,9 | 20,8 | 12,2 | 3,4 | —2,5 | 10,3 |
| 24,9 | 25,0 | 21,0 | 13,6 | 5,8 | —0,2 | 10,3 |
| 23,7 | 24,2 | 21,0 | 14,3 | 7,3 | 1,5 | 10,3 |
| 15,4 | 17,5 | 18,0 | 16,5 | 13,4 | 9,8 | 10,6 |
| 12,9 | 15,1 | 16,2 | 15,8 | 14,0 | 11,4 | 10,6 |
| море | | | | | | |
| 27,6 | 26,1 | 20,5 | 11,3 | 1,8 | —2,8 | 10,5 |
| 25,8 | 25,2 | 20,6 | 12,5 | 4,1 | —0,7 | 10,6 |
| 23,5 | 23,7 | 20,5 | 14,1 | 6,9 | 2,3 | 10,8 |
| 19,5 | 20,6 | 19,7 | 16,0 | 11,2 | 6,5 | 10,9 |
| 14,1 | 16,1 | 16,8 | 16,3 | 14,1 | 11,3 | 11,2 |
| кельмес | | | | | | |
| 28,2 | 27,1 | 21,2 | 12,3 | 4,3 | —1,2 | 11,2 |
| 27,2 | 26,6 | 22,2 | 14,2 | 6,3 | 0,8 | 11,6 |
| 24,6 | 25,0 | 22,1 | 16,1 | 9,4 | 4,0 | 11,8 |
| 19,9 | 21,7 | 21,1 | 17,8 | 13,2 | 8,6 | 12,0 |
| 13,8 | 16,1 | 17,3 | 17,1 | 15,6 | 13,3 | 12,2 |

влагооборота очень мал — 1,1. Практически оценимые осадки из местного пара имеют место только с марта по май.

О. А. Дроздов (1963) предложил ввести понятие коэффициента влагоиспользования атмосферы. Этот коэффициент показывает, какая доля находящейся в атмосфере влаги выпадает в виде осадков. В табл. 8 приведены данные для Аральского моря, из которых следует, что в данном районе более благоприятен для осадков зимний период, хотя общее влагосодержание больше в летний период. Цифровые и табличные данные приведены по материалам К. В. Кувшиновой [2].

Из приведенной информации можно сделать вывод, что исследуемый район достаточно обеспечен влагозапасами, но в связи с малым насыщением, что следует из табл. 9, влагоиспользование затруднено и, если при рассмотрении температурного режима мы могли предположить некоторые микроклиматические изменения, связанные с воздействием на Аральское море, то в отношении влажности можно уверенно сказать, что никакие мероприятия не приведут к изменению влажности настолько, чтобы вызвать изменение режима агрегатного состояния пар—вода, т. е. нельзя рассчитывать на увеличение осадков в равнинной части исследуемой территории. Некоторое увеличение влажности воздуха над поливными массивами может воздействовать на увеличение осадков в горной части района. В качестве дополнительной иллюстрации приводим

*Таблица 7*

**Коэффициент влагооборота, адвективные и местные осадки и испарение,** *см*

| Показатели | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *K* | 1,013 | 1,025 | 1,053 | 1,079 | 1,076 | 1,056 | 1,030 | 1,023 | 1,026 | 1,023 | 1,022 | 1,029 | 1,038 |
| *Va* | 1,3 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 13,1 |
| *Ve* | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| *E* | 0,3 | 0,5 | 1,5 | 2,9 | 3,9 | 2,9 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 0,4 | 18,7 |

*Таблица 8*

**Коэффициент влагоиспользования атмосферы, %**

| Станция | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Аральск . . . . . | 4,3 | 2,7 | 2,3 | 2,4 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 3,1 | 3,0 | 3,0 |

**Относительная влажность**

| Станция | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Актумсук каз. | 77 | 74 | 66 | 40 |
| Актумсук узб. | 79 | 77 | 72 | 64 |
| Аяк-Кум | 78 | 76 | 66 | 36 |
| Аральское море | 78 | 76 | 68 | 44 |
| Амударьинская уст. | 71 | 65 | 57 | 44 |
| Барсакельмес | 81 | 80 | 75 | 59 |
| Возрождение, о. | 80 | 78 | 78 | 65 |
| Карак | 76 | 69 | 50 | 32 |
| Косбулак | 79 | 78 | 59 | 36 |
| Кунград | 70 | 62 | 52 | 36 |
| Казалинск | 74 | 71 | 58 | 36 |
| Кзыл-Орда | 72 | 67 | 54 | 33 |
| Монсыр | 76 | 74 | 62 | 36 |
| Муйнак | 77 | 74 | 68 | 58 |
| Нукус | 71 | 62 | 50 | 33 |
| Сам | 78 | 73 | 62 | 33 |
| Саксаульская | 79 | 77 | 70 | 39 |
| Тигровый | 83 | 81 | 78 | 74 |
| Уялы | 79 | 77 | 74 | 66 |
| Чиили | 69 | 62 | 49 | 33 |
| Чирик-Рабат | 71 | 62 | 49 | 30 |
| Чурук | 78 | 73 | 60 | 36 |

*Таблица 9*

воздуха в 13 *час.*

| V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 24 | 26 | 24 | 30 | 44 | 61 | 74 | 47 |
| 56 | 56 | 53 | 52 | 51 | 57 | 67 | 75 | 63 |
| 29 | 24 | 25 | 25 | 30 | 43 | 59 | 74 | 47 |
| 38 | 34 | 35 | 33 | 34 | 47 | 63 | 75 | 52 |
| 36 | 37 | 38 | 36 | 38 | 43 | 60 | 72 | 50 |
| 50 | 44 | 44 | 44 | 46 | 58 | 70 | 78 | 61 |
| 57 | 54 | 50 | 50 | 50 | 57 | 69 | 77 | 64 |
| 24 | 23 | 24 | 25 | 26 | 38 | 61 | 73 | 43 |
| 25 | 23 | 23 | 24 | 28 | 40 | 52 | 73 | 45 |
| 30 | 32 | 33 | 33 | 33 | 38 | 50 | 66 | 44 |
| 28 | 27 | 28 | 27 | 30 | 41 | 57 | 72 | 46 |
| 24 | 23 | 23 | 23 | 25 | 34 | 53 | 69 | 42 |
| 25 | 23 | 24 | 22 | 26 | 39 | 59 | 74 | 45 |
| 50 | 45 | 46 | 46 | 47 | 53 | 65 | 75 | 59 |
| 27 | 25 | 28 | 28 | 28 | 35 | 49 | 67 | 42 |
| 27 | 24 | 24 | 24 | 29 | 42 | 60 | 75 | 46 |
| 27 | 24 | 24 | 23 | 27 | 42 | 62 | 75 | 47 |
| 64 | 59 | 57 | 55 | 55 | 60 | 71 | 80 | 68 |
| 60 | 62 | 62 | 58 | 56 | 60 | 70 | 77 | 67 |
| 26 | 24 | 24 | 25 | 24 | 32 | 49 | 68 | 40 |
| 21 | 19 | 19 | 19 | 22 | 35 | 56 | 69 | 39 |
| 26 | 22 | 22 | 22 | 26 | 42 | 60 | 76 | 45 |

*Таблица 10*

**Средняя месячная и годовая абсолютная влажность, *мб***

| Станция | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Актумсук каз. . . | 2,6 | 3,0 | 4,3 | 6,5 | 8,5 | 10,4 | 11,7 | 10,2 | 8,1 | 6,1 | 4,3 | 3,4 | 6,6 |
| Актумсук узб. . . | 3,6 | 3,4 | 4,5 | 6,7 | 10,5 | 14,7 | 17,1 | 17,3 | 12,7 | 8,9 | 6,0 | 4,4 | 9,1 |
| Аяк-Кум . . . . . | 2,3 | 2,5 | 4,0 | 5,9 | 8,5 | 10,3 | 11,8 | 10,7 | 8,4 | 6,1 | 4,3 | 3,2 | 6,5 |
| Аральское море . . | 2,3 | 2,6 | 4,0 | 6,2 | 9,5 | 12,0 | 14,0 | 12,5 | 8,9 | 6,4 | 4,3 | 3,0 | 7,1 |
| Амударьинская уст. | 3,7 | 3,9 | 5,0 | 7,8 | 11,4 | 16,3 | 19,1 | 18,1 | 13,1 | 8,2 | 5,6 | 4,3 | 9,7 |
| Барсакельмес . . . | 3,0 | 3,1 | 4,4 | 6,7 | 10,3 | 14,1 | 17,5 | 16,9 | 12,2 | 8,4 | 5,6 | 4,1 | 8,9 |
| Возрождение, о. | 3,5 | 3,4 | 4,5 | 6,8 | 11,7 | 16,7 | 20,0 | 18,9 | 14,0 | 9,3 | 6,1 | 4,4 | 9,9 |
| Карак . . . . . | 3,0 | 3,6 | 4,6 | 6,2 | 8,1 | 10,0 | 11,9 | 11,4 | 7,9 | 6,0 | 4,7 | 3,4 | 6,7 |
| Косбулак . . . . | 3,4 | 3,5 | 4,4 | 6,2 | 8,6 | 10,6 | 12,2 | 11,8 | 9,0 | 6,7 | 4,6 | 3,8 | 7,1 |
| Куйрад . . . . . | 3,6 | 3,9 | 4,9 | 7,4 | 10,7 | 14,9 | 17,7 | 16,7 | 12,0 | 7,5 | 4,9 | 3,5 | 9,0 |
| Казалинск . . . . | 2,6 | 3,0 | 4,4 | 6,6 | 9,3 | 12,5 | 14,8 | 12,8 | 9,3 | 6,3 | 4,4 | 3,4 | 7,4 |
| Кзыл-Орда . . . . | 3,0 | 3,4 | 4,8 | 6,5 | 8,5 | 10,9 | 12,7 | 11,0 | 7,9 | 5,7 | 4,2 | 3,3 | 6,8 |
| Монсыр . . . . . | 2,3 | 2,7 | 4,0 | 6,1 | 8,3 | 9,7 | 10,0 | 10,4 | 7,8 | 5,5 | 4,1 | 3,0 | 6,1 |
| Муйнак . . . . . | 3,7 | 3,8 | 5,0 | 7,9 | 12,5 | 16,7 | 20,0 | 19,3 | 14,3 | 9,2 | 6,0 | 4,3 | 10,2 |
| Нукус . . . . . | 3,8 | 4,2 | 5,2 | 7,2 | 9,8 | 12,6 | 15,4 | 14,6 | 10,6 | 7,0 | 4,8 | 4,0 | 8,3 |
| Сам . . . . . | 3,1 | 3,3 | 4,4 | 5,9 | 8,5 | 10,0 | 11,6 | 10,9 | 8,5 | 6,4 | 4,6 | 3,7 | 6,7 |
| Саксаульская . . | 2,1 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 9,7 | 11,1 | 10,0 | 7,6 | 5,7 | 4,2 | 2,9 | 6,2 |
| Тигровый . . . . | 3,8 | 3,7 | 5,0 | 7,8 | 13,3 | 18,3 | 21,6 | 20,6 | 15,2 | 9,9 | 6,4 | 4,6 | 10,8 |
| Уялы . . . . . | 3,1 | 3,4 | 4,9 | 8,0 | 13,0 | 18,1 | 21,1 | 20,0 | 14,2 | 9,0 | 5,5 | 3,8 | 10,3 |
| Чиили . . . . . | 3,5 | 4,1 | 5,3 | 7,0 | 9,3 | 11,6 | 13,2 | 11,6 | 8,2 | 5,8 | 4,5 | 3,8 | 7,3 |
| Чирик-Рабат . . . | 3,2 | 3,7 | 4,8 | 6,1 | 7,4 | 9,0 | 10,5 | 9,7 | 7,1 | 5,7 | 4,5 | 3,5 | 6,3 |
| Чурук . . . . . | 3,2 | 3,3 | 4,4 | 6,2 | 8,4 | 9,8 | 11,0 | 10,7 | 8,2 | 6,3 | 4,7 | 3,8 | 6,7 |

табл. 10, в которой помещены помесячные и годовые значения абсолютной влажности. Прибрежные и островные станции показывают значительную абсолютную влажность воздуха в летний период, однако, сравнивая табл. 9 с табл. 10 видим, что влажность еще далека до насыщения [6, 7]. При уменьшении открытой поверхности моря влажность воздуха на территории значительно выравняется.

С. И. Жаков [8] рассматривает образование осадков в воздушных массах различного происхождения, подразделяя на осадки за счет пара, исходного для данной воздушной массы и континентального, т. е. приобретенного в процессе движения воздушной массы над данной территорией. В указанной работе все расчеты относятся к европейской территории Советского Союза, а в Зауралье рассматриваются только два пункта — Актюбинск и Гурьев. В случае увеличения поливных массивов и других мелиоративных мероприятий есть реальная вероятность увеличения осадков за счет двух составляющих — за счет дополнительного испарения и относительной влажности воздуха, вызванного как увеличением насыщения за счет испарения, так и некоторого понижения температуры воздуха. В монографии приведены соображения об увеличении количества осадков в ближайшее десятилетие. В табл. 11 приведены данные для пунктов, расположенных на подступах к исследуемой территории.

*Таблица 11*

**Вероятное увеличение количества осадков (*мм*) в результате влияния преобразования природы на испарение в ближайшие десятилетия**

| Дополнительные источники | Актюбинск | Волгоград | Гурьев | Куйбышев |
|---|---|---|---|---|
| Ожидаемое дополнительное испарение . | 9,7 | 10,1 | 3,1 | 10,2 |
| Дополнительное испарение на относительную влажность воздуха . . . . | 62 | 63 | 15 | 56 |

Заметим, что влияние испарения на увеличение осадков более эффективно сказывается через относительную влажность воздуха. Ориентируясь на эти предположения, можно ожидать, что в районе Актюбинска увеличение осадков возможно на 72 *мм*, а это составляет 23% к существующей годовой норме (норма 315 *мм*).

Для исследуемой территории этот прирост можно считать только приростом влагосодержания адвективной составляющей, а прироста осадков может и не быть. Ближайшие подступы к району исследования с запада и северо-запада представляют пустыни и полупустыни, над которыми воздух будет прогреваться и удаляться от насыщения.

Данные табл. 11 по Гурьеву подтверждают предположение о том, что в исследуемом районе увеличения осадков ожидать не следует.

Дополнительные влагозапасы, получаемые воздухом в результате его движения над территорией, в некоторой степени могут быть реализованы, но не над исследуемой территорией, а в горах в верховьях рек Амударьи и Сырдарьи. За счет этого можно ожидать некоторого увеличения стока на этих реках.

**Ветер.** Ветры над Аральским морем и его прибрежной зоной большую часть года имеют северо-восточное направление со средней скоростью 3,5—5 *м/сек*. В январе повторяемость северо-восточных ветров больше, чем в июле; это обусловлено тем, что исследуемая зона находится под воздействием периферии сибирского антициклона, который создает в этом районе соответствующие барические градиенты. Так как Аральское море замерзает только частично, то оно оказывает некоторое влияние на распределение направлений ветра на побережье и на островах, особенно в летний период. На рис. 5 представлено распределение преобладающих направлений ветра в январе, где усматривается общая закономерность с основными действующими потоками и незначительные отклонения местного значения.

В летний период над Устюртом располагается отрог повышенного давления и оказывает заметное влияние на распределение направления скорости ветра на исследуемой территории. Однако действие отрога повышенного давления над Устюртом летом мень-

ше, чем действие сибирского антициклона зимой, и под влиянием местных особенностей в летнее время в распределении направлений ветра отмечается разброс (рис. 5).

Скорости ветра в районе исследования распределяются довольно равномерно как летом, так и зимой. В январе несколько выделяются повышенными скоростями Барсакельмес и Актумсук (УзССР), что происходит, как объясняет О. М. Житомирская, за счет местных орографических условий. На общем фоне выделяются повышенной скоростью ветра зимой о. Барсакельмес и Актумсук.

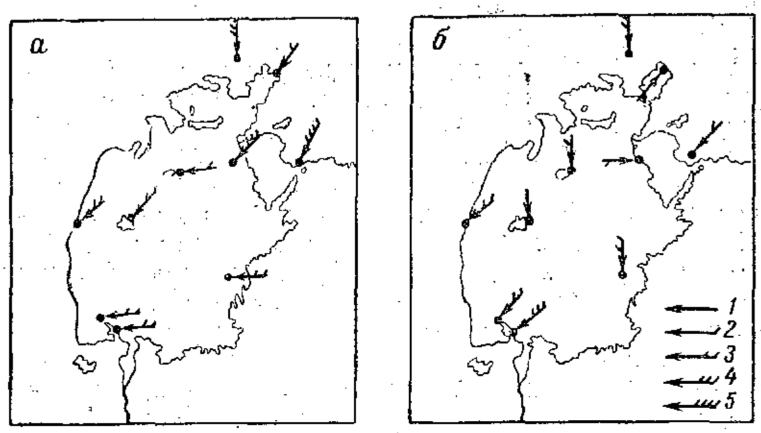



Рис. 5. Преобладающее направление ветра и его повторяемость: *а*—январь, *б*—июль; 1) ≦ 20%, 2) 21—25%, 3) 26—30%, 4) 31—35%, 5) 36—40%

В июле довольно значительно изменяется направление ветра в 13 *час* по сравнению с часовым сроком, что обусловлено бризовой деятельностью, которая более активна в дневные часы. При значительном уменьшении площади водоема активность бризовой деятельности будет снижаться.

Режимные характеристики ветра по исследуемой территории представлены таблицами 12, 13, 14. В табл. 12 приведены средние месячные скорости ветра, наблюдаемые в различные часы суток. Из данных табл. 12 следует, что, как правило, большие скорости ветра наблюдаются в 13 *час*, кроме Барсакельмес, где ночные скорости в летний период несколько больше полуденных, что объясняется особенностями местоположения пункта. В основном скоростям ветра в исследуемом районе присущи общие закономерности.

Вероятности скорости ветра по градациям (в % от общего числа случаев) приведены в табл. 13, из которой следует, что наибольшая повторяемость приходится на градации от 0 до 5 *м/сек*, что соответствует средним многолетним значениям. Градации 21—24 *м/сек* отмечаются только в трех пунктах.

Представляет интерес оценить наибольшие возможные скоро-

*Таблица 12*

**Средняя месячная скорость ветра в различные часы суток,** *м/сек*

| Станция | Часы | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Актумсук узб. | 1 | 6,0 | 6,0 | 5,1 | 4,2 | 4,3 | 4,0 | 4,3 | 4,4 | 4,7 | 5,5 | 6,9 | 7,0 | 5,2 |
| | 7 | 6,3 | 6,2 | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,1 | 5,3 | 5,8 | 6,2 | 7,2 | 7,3 | 5,9 |
| | 13 | 6,4 | 6,5 | 6,0 | 5,8 | 5,0 | 4,6 | 4,7 | 5,0 | 5,6 | 6,4 | 6,9 | 7,1 | 5,8 |
| | 19 | 6,0 | 5,8 | 5,0 | 3,7 | 3,7 | 3,1 | 3,5 | 3,5 | 3,8 | 4,9 | 6,6 | 6,7 | 4,7 |
| Аральское море | 1 | 4,2 | 4,6 | 4,8 | 4,3 | 4,0 | 3,9 | 3,5 | 3,3 | 3,6 | 4,1 | 4,3 | 4,2 | 4,1 |
| | 7 | 4,1 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,4 | 4,1 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| | 13 | 4,9 | 5,7 | 5,8 | 6,1 | 5,9 | 5,9 | 5,7 | 5,6 | 5,3 | 5,4 | 5,1 | 4,9 | 5,5 |
| | 19 | 4,4 | 5,1 | 4,9 | 4,6 | 4,7 | 5,3 | 5,6 | 4,6 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,5 | 4,7 |
| Барсакельмес | 1 | 6,2 | 6,6 | 6,0 | 6,4 | 5,5 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 6,0 | 6,6 | 7,4 | 7,1 | 6,2 |
| | 7 | 6,1 | 6,4 | 6,0 | 6,0 | 5,5 | 5,4 | 5,6 | 5,4 | 6,0 | 6,3 | 6,9 | 6,8 | 6,0 |
| | 13 | 6,6 | 6,9 | 6,6 | 6,0 | 5,1 | 5,0 | 5,3 | 5,6 | 6,3 | 7,1 | 7,4 | 7,1 | 6,2 |
| | 19 | 6,6 | 6,7 | 5,9 | 5,5 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 5,0 | 6,1 | 7,2 | 7,2 | 5,7 |
| Карак | 1 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,6 | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,4 | 3,0 | 3,4 | 3,0 |
| | 7 | 3,4 | 3,9 | 3,8 | 4,4 | 4,1 | 3,8 | 3,5 | 3,2 | 2,6 | 2,6 | 3,0 | 3,5 | 3,5 |
| | 13 | 4,3 | 5,2 | 5,6 | 6,4 | 5,5 | 5,4 | 5,3 | 5,3 | 5,2 | 4,9 | 4,6 | 4,3 | 5,2 |
| | 19 | 3,6 | 4,4 | 4,2 | 4,1 | 4,1 | 4,8 | 5,0 | 4,1 | 3,0 | 2,8 | 3,1 | 3,6 | 3,9 |
| Кунград | 1 | 3,0 | 3,4 | 3,6 | 3,1 | 2,7 | 2,2 | 1,8 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 2,8 | 2,6 |
| | 7 | 3,2 | 3,3 | 3,6 | 3,6 | 3,8 | 3,1 | 2,7 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
| | 13 | 4,4 | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 5,8 | 5,4 | 4,8 | 4,8 | 4,6 | 4,8 | 4,4 | 4,3 | 5,0 |
| | 19 | 3,4 | 3,6 | 4,0 | 4,2 | 4,3 | 3,8 | 3,1 | 2,7 | 2,4 | 2,3 | 2,8 | 2,9 | 3,3 |
| Кзыл-Орда | 1 | 3,0 | 3,7 | 3,3 | 2,7 | 2,3 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 2,0 | 2,8 | 3,2 | 2,5 |
| | 7 | 3,1 | 4,0 | 3,5 | 3,3 | 3,2 | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 2,2 | 2,4 | 3,1 | 3,5 | 3,0 |
| | 13 | 3,7 | 4,6 | 4,8 | 5,0 | 4,9 | 4,3 | 4,2 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 4,4 |
| | 19 | 3,1 | 3,9 | 3,4 | 2,8 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,3 | 2,0 | 3,0 | 3,4 | 2,6 |
| Муйнак | 1 | 3,9 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 3,8 | 3,6 | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,6 | 4,1 | 4,1 |
| | 7 | 3,9 | 4,4 | 4,5 | 4,7 | 5,0 | 4,5 | 4,3 | 4,1 | 3,7 | 4,1 | 4,4 | 4,1 | 4,3 |
| | 13 | 4,7 | 5,6 | 5,8 | 6,2 | 6,0 | 5,1 | 4,9 | 5,3 | 5,3 | 5,2 | 5,3 | 4,8 | 5,4 |
| | 19 | 4,1 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 4,6 | 4,1 | 4,3 | 4,1 | 4,1 | 4,6 | 4,4 | 4,4 |
| Саксаульская | 1 | 3,1 | 3,4 | 3,6 | 2,9 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 2,8 |
| | 7 | 3,2 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 2,9 | 3,1 | 2,9 | 2,6 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 3,0 |
| | 13 | 3,8 | 4,5 | 4,9 | 5,1 | 5,0 | 4,9 | 4,7 | 4,5 | 4,8 | 4,9 | 4,1 | 3,9 | 4,6 |
| | 19 | 3,3 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 4,1 | 4,6 | 4,7 | 3,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,6 |
| Уялы | 1 | 5,0 | 5,3 | 6,6 | 5,5 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 5,6 | 5,5 |
| | 7 | 4,9 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,0 | 4,8 | 4,7 | 4,6 | 5,1 | 5,7 | 5,7 | 5,5 | 5,2 |
| | 13 | 5,0 | 5,6 | 5,8 | 5,9 | 5,6 | 5,7 | 5,9 | 5,8 | 5,7 | 5,6 | 5,5 | 5,4 | 5,6 |
| | 19 | 5,3 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,0 | 5,2 | 4,9 | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 5,5 | 5,6 | 5,2 |
| Чиили | 1 | 2,7 | 3,1 | 3,3 | 3,1 | 2,8 | 2,1 | 2,0 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,7 | 2,8 | 2,6 |
| | 7 | 2,8 | 3,3 | 3,3 | 3,8 | 3,7 | 3,0 | 2,4 | 2,7 | 2,5 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 2,9 |
| | 13 | 3,7 | 4,5 | 5,0 | 5,7 | 5,5 | 4,9 | 4,5 | 5,1 | 5,0 | 4,2 | 3,9 | 3,7 | 4,6 |
| | 19 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 3,9 | 3,5 | 3,0 | 2,7 | 3,0 | 2,4 | 2,3 | 2,7 | 2,8 | 3,0 |
| Чирик-Рабат | 1 | 3,3 | 3,8 | 3,8 | 3,4 | 2,8 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | 3,2 | 2,9 |
| | 7 | 3,4 | 3,8 | 4,0 | 4,4 | 4,3 | 3,9 | 3,9 | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 2,9 | 3,2 | 3,6 |
| | 13 | 4,4 | 5,2 | 5,6 | 6,2 | 5,7 | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 5,2 | 5,0 | 4,6 | 4,5 | 5,3 |
| | 19 | 3,4 | 3,7 | 3,9 | 4,0 | 4,2 | 4,8 | 5,0 | 4,2 | 2,9 | 2,6 | 3,1 | 3,4 | 3,8 |

**Вероятность скорости ветра по градациям**

| Станция | Скорость, 0—1 | 2—3 | 4—5 | 6—7 | 8—9 |
|---|---|---|---|---|---|
| Аральское море | 15,1 | 25,1 | 27,0 | 16,9 | 9,3 |
| Кунград | 33,2 | 29,5 | 20,2 | 9,2 | 4,4 |
| Казалинск | 24,4 | 32,6 | 23,4 | 10,3 | 4,5 |
| Кзыл-Орда | 36,5 | 34,5 | 16,2 | 7,2 | 3,3 |
| Муйнак | 21,5 | 23,2 | 24,1 | 16,8 | 7,2 |
| Сам | 21,4 | 24,0 | 23,6 | 14,5 | 9,0 |
| Чурук | 25,0 | 22,8 | 22,5 | 14,9 | 8,4 |

сти ветра, возможные один раз в определенное число лет. Такая информация дается в табл. 14. Наибольшие значения раз в год и в 20 лет отмечаются на метеостанциях Кзыл-Орда, город и Чурук. При расчетах следует иметь в виду, что таблицы по ветру со-

*Таблица 14*

**Наибольшие скорости ветра (*м/сек*) различной вероятности**

| Станция | Скорость ветра, возможная один раз в: год | 5 лет | 10 лет | 20 лет |
|---|---|---|---|---|
| Аральское море | 19 | 22 | 23 | 24 |
| Казалинск | 21 | 24 | 25 | 27 |
| Кзыл-Орда, город | 22 | 27 | 30 | 32 |
| Сам | 21 | 23 | 25 | 26 |
| Муйнак | 21 | 24 | 25 | 26 |
| Кунград | 20 | 24 | 26 | 26 |
| Чурук | 24 | 27 | 29 | 31 |

ставлены по данным 4-срочных наблюдений с двухминутным осреднением, отдельные кратковременные порывы могут значительно превышать приведенные значения.

**Осадки.** Исследуемая территория относится к слабоувлажненным атмосферными осадками. По уточненным данным здесь выпадает от 126 до 189 *мм* в год. Большее количество приходится на холодное полугодие, хотя эта межсезонная разность невелика. В табл. 15 приведены данные, характеризующие распределение осадков по территории. В целом можно сказать, что атмосферные осадки в Приаралье не имеют практического значения.

Снежный покров в этом районе тоже невелик и практически не оказывает влияния на деятельность человека.

**Гололед.** В районе активного гололедообразования не наблюдается. В среднем за год отмечается от 10 до 16 дней с гололедом. Однако он может наблюдаться значительной интенсивности и вызывать повреждения на ЛЭП.

*Таблица 13*

**(% общего числа случаев), год**

| *м/сек* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10—11 | 12—13 | 14—15 | 16—17 | 18—20 | 21—24 | 25—28 |
| 3,2 | 2,2 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | | |
| 0,5 | 1,7 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,02 | |
| 1,8 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,2 | | |
| 0,4 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | | |
| 2,7 | 2,5 | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 0,003 | |
| 3,7 | 2,3 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | | |
| 0,9 | 3,5 | 0,3 | 1,2 | 0,4 | 0,1 | |

Изморозевые явления наблюдаются несколько чаще и бывают продолжительнее.

С уменьшением открытой поверхности моря гололедно-изморозевые явления должны уменьшаться.

*Таблица 15*

**Среднее количество осадков (*мм*) с поправками к показаниям осадкомера**

| Станция | XI—III | IV—X | Год |
|---|---|---|---|
| Аяк-Кум | 93 | 88 | 181 |
| Аральское море | 86 | 80 | 166 |
| Барсакельмес | — | 60 | — |
| Казалинск | 101 | 77 | 178 |
| Карак | 82 | 61 | 143 |
| Кзыл-Орда | 94 | 57 | 151 |
| Монсыр | 79 | 73 | 152 |
| Сам | 92 | 97 | 189 |
| Саксаульская | 70 | 82 | 152 |
| Уялы | 99 | 75 | 174 |
| Чиили | 120 | 54 | 174 |
| Чирик-Рабат | 66 | 60 | 126 |

Планируемые гидромелиоративные мероприятия на исследуемой территории не приведут к сколько-нибудь заметному изменению климатического режима, однако микроклиматический фон несколько изменится в сторону смягчения. Какова вероятность того, что на исследуемой территории заметно увеличится количество выпадающих осадков, по имеющимся косвенным материалам судить трудно.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Житомирская О. М. Климатическое описание района Аральского моря. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
2. Кувшинова К. В. Некоторые данные по влагообороту над территорией Средней Азии. Проблема Аральского моря. Наука, М., 1969.
3. Дроздов О. А. Данные по влагообороту Европейской территории СССР и средней Азии. Труды ГГО, вып. 45, 1954.

4. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат. Л., 1966.
5. Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. Гидрометеоиздат. М., 1964.
6. Справочник по Климату СССР, вып. 18, ч. I, II, III, IV. Гидрометеоиздат. Л., 1965—1969.
7. Справочник по Климату СССР, вып. 19, ч. II и III. Гидрометеоиздат. Л., 1966.
8. Жаков С. И. Происхождение осадков в теплое время года. Гидрометеоиздат. Л., 1966.
9. Дроздов О. А. О связи относительной влажности с количеством и вероятностью осадков. Труды ГГО, вып. 60, 1955.

*С. А. БЕДАРЕВ*

# ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА ПАСТБИЩНУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПРИАРАЛЬЯ

## 1. Современное состояние растительности Приаралья

Примыкающая к Аральскому морю территория по административному делению относится к Казахской и Узбекской ССР (Каракалпакская АССР).

По физико-географическому районированию Казахстана [8] северная половина этой территории относится к Северо-Приаральской провинции зоны пустынь. К зоне типичных пустынь она отнесена и на геоботанической карте СССР. Южная часть территории по своим физико-географическим условиям несколько тяготеет к среднеазиатским пустыням.

Северная территория, прилегающая к Аральскому морю, представляет собой участок обширной платформы, основание которой сложено мощными континентальными осадками мела. Выше меловых отложений находится пласт третичных морских отложений [14].

В конце палеогена в результате поднятия наступила морская регрессия, и территория стала сушей. Ее поверхность подвергалась сильной эрозии, о чем свидетельствуют остатки различных русел.

Деятельность ветра и местных очагов эрозии привела к вычленению столового рельефа с многочисленными обнажениями третичных толщ. Подтверждением этого может быть наличие бессточных впадин в виде соров и такыров. Вследствие всего этого северная половина территории в настоящее время представляет собой сильно денудированную волнистую равнину с большим количеством столовых возвышенностей и бессточных впадин. Денудация столовых останцев продолжается довольно интенсивно и в настоящее время.

Бессточные впадины особенно в западной и северной частях территории, прилегающей к Аральскому морю, варьируют по своей величине от небольших «степных блюдец», диаметром в несколько десятков метров, до котловин протяжением более 10 *км* с различным характером дна. Небольшие сравнительно молодые и не заиленные впадины представляют собой так называемые «бидаяки». С весны они наполняются водой, которая быстро исчезает, просачиваясь в грунт, и покрываются хорошей зеленой травой. Такие бидаяки разбросаны в разных местах и представляют собой наиболее ценные сенокосные угодья.

Помимо бессточных впадин и столовых возвышенностей третьим характерным элементом рельефа, особенно в северной части, являются массивы развеянных песков. Наиболее крупными песчаными массивами являются Большие и Малые Барсуки, а в северо-восточной части Приаралыские Каракумы. С восточной и юго-восточной стороны к Аральскому морю примыкают пески Кызылкум.

Пески по своей морфологии относятся преимущественно к типу полузаросших бугристых или ячеистых. Участки голых барханных песков имеются лишь в центральных частях массивов и в прибрежной полосе песков Кызылкум.

Морфологию песчаных массивов Приаралья изучали многие исследователи, которые отмечали, что некогда песчаные массивы переживали фазу значительно большего развевания. В настоящее время подвижность песков сильно ограничена, и только там, где растительность уничтожена человеком, подвижность песков возобновляется. Следует также отметить, что пески Приаралья не представляют собой мертвого безжизненного пространства. Во всех крупных массивах в результате поглощения осадков, а также конденсации атмосферной влаги имеется сравнительно неглубокий и обильный горизонт грунтовых вод, с хорошим качеством. Пески обладают рядом положительных особенностей и прежде всего той, что для песчаных пастбищ характерно наличие ценных кормовых растений, таких как полынь белоземельная, житняк сибирский, волоснец гигантский, изень простертый и др.

Кроме того пески в зимний период не подвергаются гололедице и служат местом зимнего выпаса скота. Наличие в песках кустарников, полукустарников и даже древесных форм явилось благоприятным фактором для содержания скота и служило материалом для некоторых хозяйственных поделок. Поэтому не случайно в песках, особенно северной половины Приаралья, сосредоточено почти все население края.

Менее ценным в хозяйственном отношении являлись площади глинистой или каменистой пустыни. Редкие зимовки существовали в них лишь по долинам крупных балок, а сами эти площади использовались для кратковременного весеннего выпаса, когда на них можно было найти временные водоемы и корм для скота. В настоящее время в связи с интенсивным освоением земель облик глинистой территории совершенно меняется, создаются новые совхозы, через плато Устюрт проведен газопровод, электролиния, строятся колодцы и т. д.

Сведения о почвенном и растительном покрове имеются во многих литературных источниках. Основным зональным типом почв северной половины Приаралья являются бурые почвы. Они содержат до 1,5—2,0% гумуса, вскипают чаще всего с поверхности. На столовых плато встречаются малоразвитые бурые почвы, характерные для боялычевой группы ассоциаций. В ряде случаев наблюдаются эродированные бурые почвы, на них развиваются пустынные комплексы полынной и биюргуновой растительности.

Довольно распространенным типом являются также солонцева-

тые бурые почвы под биюргуновыми, биюргуново-полынными и отчасти чернополынными ассоциациями. В очень большом количестве бессточные четвертичные делювиальные отложения привели к формированию типичных солончаков с солянковой растительностью.

Остановимся несколько подробнее на растительности Приаралья и ее хозяйственном значении для развития животноводства.

Формирование современного растительного покрова претерпело довольно сложную эволюцию. С конца палеогена эта страна являлась ареной взаимодействия двух типов растительности [4]: субтропической ксерофильной и мезофильной умеренной флоры. В конечном итоге эта борьба закончилась губительно для обеих флор и вместо них в конце третичного периода сформировалась типичная растительность северных пустынь с характерными для нее полукустарниковыми формациями. Постепенно эволюция шла в сторону ксерофилизации видов, и современная растительность представлена двумя достаточно резко отличающимися типами: полукустарниковыми пустынями на бурых почвах и полукустарниково-кустарниковыми песчаными пустынями.

Первый тип растительности является вполне сформированным и распространен на волнистой делювиально-элювиальной равнине с типичными зональными бурыми почвами. На плакорной части равнины господствует эфемероидно-итсигеково-белоземельнополынное пастбище. Этот тип пастбища широко распространен в Северном Приаралье, охватывает также часть территории плато Устюрт. Почва под данным сообществом бурая, очень плотная. Характерной особенностью этой почвы является карбонатно-сульфатный горизонт, который залегает повсеместно с глубины 40—50 *см*.

Промачивание почвы осенне-зимне-весенними атмосферными осадками достигает 60—70 *см*, иногда меньше. Грунтовые воды залегают глубоко и питание растений за их счет исключено. В ранневесенний период запасы общей влаги сосредоточены в основном в верхнем метровом горизонте и к концу мая бывают израсходованными. В нижних горизонтах почвы (240—300 *см*) общие запасы воды более или менее постоянны, но их величина крайне незначительна (6—10 *мм*). Атмосферные осадки с суммой менее 5 *мм* существенного влияния на водный режим не оказывают. Кормовая масса слагается растениями разнообразных жизненных форм (полынь серая, прутняк простертый). Из них полынь серая является доминантом и составляет основу урожая. Кроме указанных ландшафтных растений имеются и эфемеры.

Накопление растительной массы происходит особенно интенсивно в конце апреля и в мае. В это время года запасы влаги в почве еще сравнительно достаточны, а среднемесячная температура воздуха в мае колеблется в пределах 20—23°. Максимальный урожай эфемероидно-итсигеково-белоземельнополынных пастбищ приходится на конец мая — первую половину июня. В дальнейшем наблюдается повышение напряжения гидротермических факторов и происходит выгорание растительности. В летний период запасы

продуктивной влаги в метровом слое почвы почти равны нулю.

Биюргуновые (Anabasis salsa) пастбища занимают значительную территорию в Приаралье. Данный тип пастбища в основном распространен в северной и западных частях Аральского моря, заходя в Каракалпакскую АССР (юго-восточная часть Устюрта).

Почвы под биюргуновым пастбищем в верхней части разреза характеризуется хорошо выраженным слитным горизонтом с комковато-глыбистым строением. С глубины 25—30 *см* отчетливо выражена столбчатость. Влажность почвы под биюргуновым пастбищем несколько выше по сравнению с предыдущим, хотя количество доступной влаги к середине июня в метровом слое почвы также падает до минимума.

Биюргун является основным доминирующим растением рассматриваемого сообщества и составляет основу урожая. Накопление подземной массы его наиболее интенсивно идет в конце апреля и в мае.

Урожайность биюргунового пастбища колеблется по годам в пределах 1,5—3,0 *ц/га*. Начиная со второй декады июня, количество надземной массы биюргуна снижается, и к зиме запас кормов на пастбище не превышает 0,5—1 *ц/га*. Отмирание и опадение однолетних веточек заметно происходит с наступлением высоких температур воздуха и резким снижением запасов влаги в почве.

Во влажные годы урожайность биюргуновых пастбищ по данным Устюртской пустынной станции Комплексного института естественных наук Каракалпакского филиала АН УзССР [13] составляет в июне 5,71 *ц/га*. Следовательно, для биюргуна атмосферные осадки являются основным источником водного питания, поскольку грунтовая вода находится на большой глубине (20—30 *м*) и корневая система не может ее использовать.

Сезонный ход накопления растительной массы показывает, что общий урожай биюргунового сообщества определяется биюргуном. Незначительное участие в травостое принимают эфемеры. Эдификатор этого пастбища содержит достаточное количество питательных веществ и является вполне пригодным кормом для овец и верблюдов в течение всего года.

Полынно-биюргуново-боялычевое (Salsola arbusculaeformis + Anabasis salsa + Artemisia terrae albae) пастбище довольно часто встречается в комплексе с вышеописанным. Грунтовые воды залегают глубоко и водное питание осуществляется только за счет атмосферных осадков.

В общей продуктивности надземной массы полынно-биюргуново-боялычевого комплекса основную часть составляет боялыч (3—5 *ц/га*), затем биюргун (1,0—1,5 *ц/га*) и полынь (0,5—1 *ц/га*). Максимальный урожай пастбища падает на вторую — третью декады мая и составляет в среднем 6—7 *ц/га*. В годы с влажной весной на таких пастбищах появляется много эфемеров и эфемероидов. Урожайность сообщества возрастает до 8—9 *ц/га*, на долю эфемеров падает 10—15% всей массы.

Полынно-кейреуково-черносаксауловое (Haloxylon aphyllum —

Salsola rigida + Artemisia terrae albae) пастбище распространено в юго-восточной части плато Устюрт. Основным эдификатором является саксаул черный, который удовлетворительно поедается овцами, козами и верблюдами. Саксаул образует около 75—80% всей массы. Субэдификаторы — кейреук и полынь — в общей продуктивности занимают сравнительно небольшое участие (10—15%).

Урожайность данного пастбища высокая за счет саксаула. Так общий валовой урожай по данным Устюртской пустынной станции колеблется от 37 до 44 *ц/га*, на долю черного саксаула приходится около 90—92%. Наиболее интенсивно прирост наблюдается в мае, максимум урожая отмечен в июле, после чего идет одревеснение и усыхание молодых веточек саксаула, небольшая часть из них опадает и к октябрю количество надземной массы саксаула снижается на 8—10%.

Рассматривая пастбища глинистых пустынь Приаралья, нельзя не остановиться на растительности такыров и солончаков. Как указывалось выше, солончаковые долины иногда тянутся на несколько десятков километров от Аральского моря в глубь материка, а иногда прерываются останцами плато, образуя большие впадины. Такие долины имеют место на Устюрте, в Северном Приаралье и других районах.

Растительность таких участков, представляет собой чисто галофитный тип. В некоторых местах поверхность солончаков ровная, покрытая налетом белой или сероватой соли. Поверхностная корочка крупная, толщиной 0,5—1,0 *см*, пропитана солями, под ней часто расположен темный слой до 20 *см*. При подсыхании почвы весной или после выпавших осадков на поверхности образуется белый налет, состоящий из растворимых солей. Часто дующие ветры подхватывают эти слои и переносят на близлежащие территории, тем самым способствуя их засолению.

Из растительности солончаков и солончаковатых почв следует отметить сарсазан (Halocnemum strobilaceum), поташник (Kali dium caspicum). В меньшем количестве произрастают биюргун (Anabasis salsa), шведа (Suaeda physophora), кокпек (Atriplex cana), солянки (Salsola crassa, s. lanata, s. brachiata).

Урожайность таких сообществ низкая (1—2 *ц/га*), что обусловлено большой изреженностью произрастающих видов. Максимальный запас надземной массы падает на конец июля — начало августа. Приуроченность наибольшего урожая солончаковой растительности ко второй половине лета связана с близостью грунтовых вод и корневая система использует как капиллярную влагу, так и непосредственно грунтовые воды.

Поскольку растения обеспечены влагой, то совершенно ясно, что основными факторами, влияющими на накопление ассимилирующих частей растений, будут являться метеорологические элементы (температура, инсоляция и т. д.) и степень засоленности почв. Чем выше минерализация почвенного раствора, тем труднее растение использует эту влагу, а следовательно, прирост надзем-

ной массы будет замедленным. Однако несмотря на большой общий запас влаги в почве надо указать, что атмосферные осадки в летний период оказывают существенное влияние не только на рост, развитие и накопление листовой массы рассматриваемых галофитов, но и повышают деятельность физиологических процессов благодаря снижению концентрации почвенного раствора и увеличению доступной для растений влаги.

Хорошая приспособленность галофитов к сильному почвенному засолению обеспечивает повышенную устойчивость к атмосферной засухе и способствует сохранению всей зеленой массы до конца вегетации.

Большое значение в кормовом балансе территории Приаралья имеют пастбища песчаных массивов, из них наибольшее значение имеют пески Северного Приаралья — Большие и Малые Барсуки, которые в южной части подходят к Аральскому морю, Приаральские Каракумы и с востока Кызылкум.

Ниже дается характеристика основных видов песчаных пастбищ Северного Приаралья.

Изенево-серополынно-житняковое (Agropyron sibiricum + Artemisia terrae albae + Kochia prostrata) получило большое распространение на выровненной, слегка всхолмленной равнине, занимая большей частью различные понижения и западины. Увлажнение происходит за счет атмосферных осадков, и только в наиболее пониженных местах грунтовые воды находятся на глубине 5—6 *м* (южная часть песчаных массивов Большие и Малые Барсуки).

Основным фоновым растением данного типа пастбищ являются житняк сибирский и полынь серая, которые играют основную роль в кормовом балансе территорий. Естественные угодья, где доминирующее место занимают указанные растения, являются также сенокосами. Большинство совхозов Северного Приаралья на закрепленных песках в середине июня проводят сенокошение. Урожайность таких пастбищ-сенокосов в среднем 5—6 *ц/га*.

Житняково-полынно-кустарниковое (Convolvulus fruticosus + Calligonum aphyllum + Atraphaxis spinosa — Artemisia arenaria + A. terrae albae + Agropyron sibiricum) пастбище состоит преимущественно из кустарниковых растений, занимая небольшие возвышенности и подножья склонов песчаных гряд. Увлажнение преимущественно за счет атмосферных осадков и только кустарники в некоторых местах используют капиллярную влагу и частично грунтовую воду.

Вегетация кустарников начинается значительно позже по сравнению с житняком сибирским, полынью серой, полынью песчаной и многими другими растениями, поэтому максимальная урожайность приходится на конец июня — начало июля и составляет в среднем 7—8 *ц/га*.

Учитывая различную геоморфологию песчаных массивов, следует указать на то, что даже в одном и том же районе урожайность травостоев будет неодинаковая. Зависит это прежде всего от различного видового состава, слагающего сообщество. Выше

были рассмотрены два типа пастбищ, занимающих понижения и подножья небольших гряд, склоны же и вершины таких гряд бывают заняты несколько иной растительностью. Так в Больших и Малых Барсуках склоны небольших гряд чаще всего заняты кустарниково-житняково-полынным (Artemisia tomentella + A. terrae albae + Agropyron sibiricum — Atraphaxis spinosa + Calligonum aphyllum) пастбищем. Урожайность его характеризуется значительным колебанием по годам (от 5—6 до 9—10 *ц/га*) с максимумом в июле и даже в начале августа. Повышенная урожайность обусловлена хорошей устойчивостью видов к выгоранию, особенно изеня и астрагала Нины. У астрагала стебель длительное время стоит зеленым и только в августе наблюдается его усыхание. Данное пастбище можно использовать круглогодично. Весной хорошо поедается житняк сибирский; летом — изень, джузгун; осенью и зимой — полыни и кустарники.

Значительный процент площади песчаных массивов занимают бугристо-грядовые пески с сильно изреженной растительностью, что вызывает дефляцию песка. В таких местах основу травостоя в песках Северного Приаралья составляет волоснец гигантский, полынь пятидольчатая и джузгун. Волоснец в большинстве случаев распространен диффузно, а иногда образует по склонам гряды или сопки небольшие скопления. Урожайность джузгуново-полынно-волоснецового пастбища составляет 8—9 *ц/га*. Основная масса падает на волоснец гигантский (около 70%).

С восточной стороны к Аральскому морю подходят пески Кызылкум, пастбища которых характеризуются целым рядом ценных кормовых растений и прежде всего наличием в весенний период эфемеров и эфемероидов, которые служат основным кормом для овец в ранний период вегетации. Кроме эфемеров значительное распространение имеют джузгуны, в некоторых местах белый саксаул, акация и многие другие растения. Урожайность таких пастбищ равна 3—4 *ц/га*.

Из растительности, произрастающей при близком стоянии грунтовых вод и непосредственно в воде, следует отметить тростниковые заросли. Тростник представляет собой исключительно ценное техническое сырье и кормовое растение.

Тростниковая ассоциация распространена на лугово-болотных, торфяно-болотных, аллювиально-болотных почвах и прибрежных равнинных участках. Травостой довольно густой и однородный. Доминантом является тростник обыкновенный, образующий сплошные заросли высотою от 2 до 4,5 *м*. Наиболее густые заросли тростника имеются в северо-восточной и юго-восточной частях Аральского моря в дельтах рек Амударьи и Сырдарьи. Количество стеблей тростника на 1 $м^2$ колеблется в пределах 30—70 при средней высоте 250—260 *см*. Урожайность прибрежной тростниковой ассоциации достигает 100—120 *ц/га* сухой массы, а в некоторых местах даже несколько выше. Количество надземной массы разнотравно-тростниковой ассоциации, используемой под пастбище и сенокос, составляет 50—60 *ц/га*.

Отмирающие тростники расположены на лугово-болотных опустынивающихся почвах с мелкими песчаными буграми. Отмирание тростниковых зарослей происходит в тех случаях, когда впадины и низины не затопляются паводками в течение нескольких лет. В связи с этим уровень грунтовых вод понижается до глубины, с которой тростники не могут достаточно снабжаться влагой. А по мере усыхания озер тростниковые заросли изреживаются, отстают в росте, не дают генеративных побегов и урожайность их не превышает 25—30 *ц/га*.

Кроме чисто тростниковых зарослей в прибрежной части Аральского моря небольшие площади заняты разнотравно-солодково-тростниковой, вейниково-тростниковой, рогозово-тростниковой и другими ассоциациями и их комплексами.

Перечисленные выше типы пастбищной и сенокосной растительности Приаралья не исчерпывают всей их полноты и кроме того в результате антропогенных, климатических и других факторов происходят смены растительности. Иногда из-за бесхозяйственной деятельности (чрезмерный бессистемный выпас, рубка кустарников и полукустарников на топливо и т. д.) наблюдается замена ценных пастбищных угодий малопродуктивными с плохопоедаемыми или непоедаемыми видами растений. Особенно быстро могут происходить смены растительного покрова под влиянием усыхания территории в связи с уменьшением паводковых вод и сокращением площади водной поверхности водоема.

Рассмотрим в общих чертах характер изменений, происходящих в растительном покрове под влиянием усыхания Аральского моря.

## 2. Динамика пастбищной растительности в связи с изменением уровня Аральского моря

Растительный покров в своей эволюции претерпевает различные изменения, обусловленные целым рядом факторов, основными из которых являются климатические, а также хозяйственная деятельность человека. Одни растительные сообщества более устойчивые, другие претерпевают изменения в связи с изменением условий среды или различным характером их использования.

Наиболее изменчивыми являются сообщества песчаных пустынь, поскольку они стоят на более низкой ступени эволюции. Последняя была приостановлена жесткими климатическими условиями, в результате у растений выработались определенные признаки (опушенность, сокращение испаряющей поверхности, наличие толстой кутикулы, восковой налет и т. д.), дающие возможность существовать видам в суровых пустынных условиях. Только изменения климата в сторону повышенной влажности может привести растительность в своем эволюционном развитии в сторону образования климаксовых (устойчивых) сообществ.

Рассматривая вопрос влияния изменения уровня Аральского моря на смену растительного покрова и его продуктивность, следует признать, что некоторые типы пастбищ могут коренным образом изменяться под влиянием усыхания этого водного бассейна.

Коснемся в общих чертах тех изменений, которые могут произойти в растительном покрове и количестве надземной массы глинистых, песчаных, солончаковых и других территорий, прилегающих непосредственно к Аральскому морю или расположенных на незначительном удалении от него.

Известно, что основным лимитирующим фактором в аридной зоне является крайне слабое почвенное увлажнение при очень высокой инсоляции. Как показывают данные, климат Приаралья резко континентальный, что проявляется в значительных годовых и суточных амплитудах температуры воздуха. Годовая амплитуда абсолютного минимума и максимума весьма значительна (84—89°). Средняя годовая температура положительная, что говорит о больших величинах радиационного баланса. Так по данным И. И. Прохорова * среднегодовое значение суммарной радиации здесь составляет 142 *ккал/см*$^2$, поэтому одной из причин сухой и жаркой погоды в Приаралье в летний период является изобилие солнечной радиации.

Засушливый климат отчетливо проявляется в низких значениях относительной влажности воздуха, большом ее дефиците в теплый период года. Среднегодовая относительная влажность воздуха в 13 *час* по данным метеостанций, расположенных в Северном Приаралье, колеблется около 49%, на побережье (ГМС Аральское море) она составляет 52% и в открытой части моря — 60—65%. Как видно, по мере удаления от побережья Аральского моря в сторону континента влажность воздуха уменьшается крайне незначительно. Учитывая, что влажность воздуха в Приаралье обусловлена адвективными переносами, степень насыщения воздуха местными водяными парами остается низкой. Следовательно, доля осадков, выпадающих за счет местного пара, по отношению к осадкам, выпадающим за счет адвективного пара в исследуемом районе, будет также мала. Поэтому влажность воздуха уже на расстоянии 5—10 *км* почти не окажет существенного влияния на продуктивность пастбищной растительности особенно в тех местообитаниях, где грунтовые воды залегают глубоко.

Принимаем во внимание, что в будущем, когда воды рек Амударьи и Сырдарьи в значительной мере будут использоваться для нужд сельского хозяйства и Аральское море превратится в небольшой мелководный водоем, уровень грунтовых вод значительно упадет. Естественно уменьшится и количество воды, поступившей в атмосферу за счет испарения с водной поверхности, одновременно увеличится дефицит влажности воздуха.

Какие же произойдут изменения в растительном покрове глинистой пустыни?

Как было указано, основными типами пастбищ на плато Устюрт и Северном Приаралье являются эфемерово-итсигеково-белоземельнополынный, биюргуновый, полынно-биюргуново-боялычевый, полынно-кейреуково-черносаксауловый. Все эти пастбища

* См. статью в настоящем сборнике.

распространены на бурых почвах с грунтовыми водами на глубине свыше 25—30 *м*, а в восточной части плато Устюрт, примыкающего к Аральскому морю и обрывающегося крутым чинком вдоль всего побережья (расстояние около 300 *км*), грунтовые воды находятся на значительно большей глубине. Урожай надземной массы формируется исключительно за счет выпадения атмосферных осадков, влияние грунтовых вод на его величину совершенно исключено, поскольку влажность воздуха на расстоянии 10—15 *км* от побережья отличается от влажности воздуха в районе береговой линии на 2—3%. Следовательно, даже при полном исчезновении Аральского моря продуктивность таких пастбищ и видовой состав кормовых растений почти не изменятся. Подтверждением сказанного могут служить данные урожайности перечисленных пастбищ, произрастающих на расстоянии 40—50 *км* от Аральского моря. Так продуктивность их всего лишь снижается на 20—30 *кг* с гектара, что может быть в пределах ошибки опыта.

Резкое падение уровня Аральского моря не может заметно отразиться на смене растительного покрова и его продуктивности песчаных массивов (Большие и Малые Барсуки, Приаральские Каракумы, Кызылкум). Основной причиной стабильности таких пастбищ является то, что для песков характерен свой водный режим даже при залегании грунтовых вод на большой глубине. О лучшей обеспеченности песчаной растительности особенно кустарниковой и полукустарниковой свидетельствуют данные целого ряда авторов [1—3, 5—7, 9—12].

Почти все авторы констатировали, что несмотря на неглубокое промачивание атмосферными осадками толщи песка в нижних горизонтах всегда имеется определенное количество доступной для растений влаги. И только в некоторых местах остается непромачиваемый грунт, который был назван Г. Н. Высоцким [6] impermacidным. Иногда имеет место сквозное промачивание для грунтовых вод, причем роль очагов инфильтрации играют не западины, а участки сыпучих песков (барханы). А. Г. Гаель указывает, что наиболее возвышенные барханные гряды лишены «мертвого» горизонта, вся 15—20-метровая толща промачивается насквозь, и поверхность грунтовых вод под барханными грядами образует куполообразное вздутие до 2—3 *м* высоты. Этого поднятия не наблюдалось под язвами дефляции среди заросших песков ввиду их незначительного размера и грунтовые воды под ними залегают горизонтально.

Основным источником водоснабжения глубоких песчаных горизонтов по мнению Э. Н. Благовещенского [3] является конденсационная влага. Видимо, и водное питание древесно-кустарниковой растительности происходит не только за счет атмосферных осадков и в некоторых местах грунтовых вод, но и за счет влаги конденсационного происхождения. При глубоком залегании грунтовых вод (свыше 7—8 *м*) водное питание осуществляется из «висячих» (по Благовещенскому) слабовлажных горизонтов, которые обычно не соединяются ни с impermacidным горизонтом, ни с грунтовыми

водами или капиллярной влагой. Влажность этих конденсационных горизонтов невысокая, равна утроенной максимальной гигроскопичности, и корни используют воду из больших объемов почвогрунта. Так например, объем грунта, пронизанный корнями саксаула, равняется 100—150 $м^3$. Видимо, этим объясняется большая изреженность кустарников в пустыне.

Как видно, песчаные почвы имеют более благоприятный водный режим по сравнению с почвами глинистого плато. Отсюда урожайность основных типов пастбищ песчаной пустыни будет выше, нежели глинистой. Значительные изменения растительность песков может претерпевать там, где грунтовые воды залегают неглубоко или даже выходят на поверхность. В Приаралье такое явление наблюдается в Кызылкуме, в тех местах, где пески низко подходят к Аральскому морю и между песчаными грядами имеются выходы грунтовых вод подобно пескам Притопарья и Муюнкумским пескам (так называемые «чуроты»). При снижении уровня грунтовых вод растительность чурот резко меняется: вместо злаковых и других растительных группировок появляется типичная пустынная растительность (*бескильница, ажречники, полынь натронная и др.*), урожайность которой в несколько раз ниже первоначальных разнотравно-злаковых сообществ.

Значительные изменения произойдут при сокращении бассейна Аральского моря и снижении грунтовых вод в растительном покрове солончаковых долин и прибрежных понижений с грунтовой водой до 4 *м*. Смена растительности будет связана с изменением водносолевого режима почвы. Так, в настоящее время на солончаковых почвах капиллярная кайма подходит к поверхности; в результате эвапотранспирации (суммарный расход влаги) за летний период происходит подтягивание солей из нижележащих горизонтов почвы, что обусловливает существование галофильной растительности. Понижение уровня грунтовых вод приведет к тому, что капиллярная кайма также опустится на определенную глубину, и перемещение солей в верхние горизонты значительно уменьшится. Уменьшение солей (за счет ежегодного промачивания осадками) несомненно приведет к постепенной смене растительного покрова.

Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что в зависимости от интенсивности процесса рассоления будет меняться и растительность. Довольно часто на смену сарсазана, лоташника, шведы, солероса и т. д. приходят ажречники, полынь шренка, солодка шиповатая, петросимония сибирская и т. д. По мере уплотнения почвы и накопления мелкозема могут появляться кейреучники, а затем сеполынники, что является свидетельством явного уменьшения засоленности почвы.

Является ли такая смена отрицательным моментом? Следует отметить, что скорей всего это положительная сторона, так как солончаковые почвы будут постепенно превращаться в такыровидные (первый этап), затем в такыровидные сероземы и со временем в серо-бурые и бурые зональные почвы, пригодные для сельскохозяйственного использования, особенно при наличии орошения.

Значительные изменения в растительном покрове и его продуктивности при уменьшении стока в Аральское море могут произойти в дельтах рек Амударьи и Сырдарьи, где преобладает тростниковая и разнотравно-тростниковая растительность. При отсутствии затопления водами рек пойменные участки с лугово-болотной почвой превратятся в лугово-болотные опустынивающиеся. Уровень грунтовых вод в этих местах значительно понизится, тростники начнут отмирать, хотя почвы еще длительное время могут сохранять признаки болотной и лугово-болотной стадий. В таких случаях тростники редеют, между ними появляются куртины солероса (Salicoria herbacea), шведы (Suaeda salsa), сарсазана (Halocnemum strobilaceum), в дальнейшем на смену им могут появляться участки, занятые бескильницей (Atropis dolicholepis), ажреком (Aeluropus litoralis) и другой растительностью.

Таким образом, с ухудшением условий местообитания заросли тростника постепенно исчезают и продуктивность таких травостоев резко снижается. Продуктивность солянковых, ажрековых, бескильницевых сообществ в 10—15 раз ниже тростниковых зарослей и составляет 3—4 *ц/га*.

Рассматривая растительность Приаралья и ее возможные изменения при постоянном усыхании Аральского моря, нельзя не указать еще на один из факторов отрицательного последствия сокращения бассейна Аральского моря. Речь идет о эоловых процессах, которые могут иметь место при понижении уровня воды и отступлении береговой линии на десятки километров. При этом общая площадь поверхности, освобожденной от воды, составит несколько тысяч квадратных километров. Учитывая тот факт, что донные отложения, состоящие из легкого механического состава, при понижении грунтовых вод быстро высыхают, они могут быть подвержены значительному перевеванию. Условия для перемещения легких супесчаных и песчаных отложений в Приаралье выражены отчетливо. Так, среднемесячная годовая скорость ветра составляет 4,5—5,0 *м*. Повсеместны ветры значительных скоростей (>15 *м/сек* — до 28 дней в году). Указанные обстоятельства способствуют перемещению песка и других мелких фракций, образуя при этом наносы высотой 20—30 *м* и выше. В качестве примера можно привести образование громадного количества песчаных наносов (горы песка) на побережье Каспийского моря в результате отступления береговой линии на 20—25 *км* (юго-восточная часть, район Небит-Дага). Свободное перемещение песка сдерживает его закрепление растительностью и по существу вся эта территория выходит из сферы хозяйственного использования.

Для того, чтобы превратить эту территорию в хозяйственно пригодную, необходим длительный процесс (без активного вмешательства человека), который продолжается иногда несколько десятков лет. Пионерами зарастания подвижных песков могут быть селин (Aristida pennata), кумарчик (Agriophylum), некоторые виды скорзонер, волоснец гигантский, асперула и др.

Из кустарников и полукустарников следует выделить эремоспартон, джузгун, эфедру, полыни, кустарниковые астрагалы.

При активном вмешательстве человека закрепление песков можно ускорить, хотя для этого потребуется также несколько лет (10—15), о чем свидетельствует опыт научных учреждений Средней Азии и Казахстана. При этом следует отметить, что затраты средств на фитомелиоративные работы большие, а эффективность подчас мала, поскольку набор интродуцируемых видов весьма ограничен, а климатические условия аридных районов очень суровые.

Таким образом, выше кратко рассмотрен вопрос о влиянии изменения уровня Аральского моря на смену пастбищной растительности, ее продуктивность. В данной обзорной главе не затрагивались такие вопросы, как солевая динамика почв, динамика их влажности, зависимость продуктивности надземной массы от водносолевого режима, комплекса метеорологических факторов и т. д. Для более тщательного решения указанной проблемы требуется *стационарное и экспедиционно-маршрутное агрометеорологическое и эколого-геоботаническое изучение* пастбищной растительности и ее урожайности в различных условиях местообитания.

ЛИТЕРАТУРА


1. Благовещенский Э. Н. Водообеспеченность кустарниковых пустынь Средней Азии в связи с вопросами их восстановления. ДАН, т. 38, № 4, 1943.
2. Благовещенский Э. Н. Некоторые данные по экологии корневых систем деревьев и кустарников в песчаной пустыне. Изв. Туркм. ФАН СССР, № 2, 1949.
3. Благовещенский Э. Н. Водный режим почвогрунтов в пустынях Средней Азии. Труды Института почвоведения, мелиорации и ирригации. АН ТаджССР, т. 88, 1958.
4. Быков Б. А. Общие физико-географические условия и растительность Северного Приаралья. Сб. Биоэкологические основы использования и улучшения пастбищ Северного Приаралья. Наука, Алма-Ата, 1968.
5. Высоцкий Г. Н. Очерки о почвах и режим грунтовых вод. Бюллетени почвоведа, № 1—8, 1927.
6. Высоцкий Г. Н. О глубокопочвенном почвоведении. Почвоведение, № 6, 1934.
7. Гаель А. Г. О роли растений в почвообразовании в пустыне Кара-Кум, о песчаных почвах и их плодородии. Изв. РГО, т. 21, № 8, 1938.
8. Гвоздецкий Н. А., Жучкова В. К., Звонкова Т. В. и Николаев В. А. Опыт физико-географического районирования Казахской ССР. Развитие географических наук в Казахстане. Алма-Ата, 1947.
9. Дубянский В. А. Песчаная пустыня. Юго-Восточные Кара-Кумы, ее естественные районы, возможности их сельскохозяйственного использования и значение для ирригации. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, т. 19, вып. 4, Л., 1928.
10. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. АН СССР, изд. 4. 1936.
11. Орлов Б. П. К изучению экологических условий в юго-восточной части Закаспийских Каракумов. Труды по прикладной ботанике, т. 19, вып. 4, 1928.
12. Петров М. П. Развитие корневых систем кустарников песчаной пустыни Каракум. Проблемы растениеводческого освоения пустынь, ВАСХНИЛ, вып. 4, 1935.
13. Турсунбаев К. Динамика продуктивности надземной массы основных растительных сообществ Каракалпакской части Устюрта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук. Ташкент, 1970.
14. Яншин А. Л. Геология Северного Приаралья. Издание общества испытателей природы. М., 1953.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# СВЯЗЬ ВЕКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ С СООТНОШЕНИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И МАКРОТИПОВ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

В работах автора [1—4] показано, что солнечная активность влияет на количество атмосферных осадков, а через них и на гидро- и гляциологические процессы двумя путями: непосредственно через физические параметры атмосферы и через атмосферную циркуляцию. В первом случае она способна вызывать различный уровень активности влагоосаждения, а во втором — колебания повторяемости основных типов циркуляции. Удалось разработать способ определения индивидуального влияния каждого из этих факторов, с помощью которого для ряда районов определены знак и величина непосредственного и опосредствованного влияния солнечной активности на осадки.

Для территории Аральского моря непосредственное влияние солнечной активности на осадки имеет отрицательный знак в годы максимума и положительный знак в годы минимума 11-летних циклов. На территории бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи эти знаки меняются на обратные, т. е положительный на максимуме и отрицательный на минимуме солнечной активности.

Что касается типов атмосферной циркуляции, то они влияют на осадки однозначно как для акватории Аральского моря, так и для бассейнов упомянутых двух рек. Так, тип *Е* циркуляции обусловливает осадки больше нормы, а тип *С* — меньше нормы. Количественное выражение этих вкладов в осадки определено для одинакового уровня солнечной активности. Ранее [5—8] выявлено, что в годы максимума 11-летних циклов солнечной активности повышается повторяемость процессов типа *Ш* и *Е*, а в годы минимума — повторяемость типа *С*.

Следовательно, влияние солнечной активности в годы максимума через атмосферную циркуляцию способствует увеличению осадков, в годы минимума — понижению их.

Учитывая сказанное, можно утверждать, что в рассматриваемом регионе в годы максимума солнечной активности оба способа ее влияния на осадки имеют знак плюс, а в годы минимума — минус. Этим обстоятельством объясняется отсутствие катастрофических засух на территории этого региона в годы максимума солнечной активности и стопроцентная вероятность их в годы минимума.

Для территории Украины [5] сочетаются противоположные знаки воздействия двух путей влияния солнечной активности на осадки как в годы максимума, так и в годы минимума. Поэтому здесь вероятность засух почти одинаковая в течение всего цикла солнечной активности.

Принимая во внимание изложенное о двух видах воздействия солнечной активности, попытаемся рассмотреть многолетний ход уровня Аральского моря в связи с сочетаниями эпох атмосферной циркуляции и фаз вековых циклов солнечной активности.

На рис. 1 показана кривая наблюденного уровня Аральского моря (сплошная линия), фазы вековых циклов солнечной активности (ступенчатая линия внизу рисунка), приведенные в работе [3], индексы циркуляции в рамках вековых циклов солнечной активности, а также линейка соотношений знаков двух вышеупомянутых видов влияния солнечной активности. Здесь вековые циклы солнечной активности подразделены на три части — фазу максимума и фазы минимума. Знаки влияния типа циркуляции приведены в соответствии с их вековыми характеристиками, данными в [12].

В пределах вековых циклов солнечной активности знак влияния атмосферной циркуляции на осадки сохраняется один и тот же в соответствии с преобладающим типом атмосферной циркуляции. Таким образом, внутри каждого такого векового цикла имеются три периода с разными сочетаниями знаков воздействия осадкообразующих факторов.

Сопоставление соотношений знаков двух видов влияния солнечной активности с кривой уровня (в 1780—1969 гг.) убеждает нас в том, что в периоды (эпохи) однозначного влияния отмечаются наиболее существенные и длительные аномалии уровней Аральского моря. При этом периодам сочетания отрицательных знаков соответствуют значительные понижения уровня (периоды 1815—1838 гг. и 1883—1902 гг.), а периодам сочетания положительных знаков (вкладов) — значительные повышения уровня (периоды 1780—1796 гг. и 1932—1960 гг.). В оба периода понижения уровень Арала опускался на 1,2—1,4 *м* ниже нуля графика (51,494 *м*), в периоды повышения поднимался почти на два метра выше нуля графика.

Таким образом, общие колебания уровня от периода сочетания положительных знаков влияния климатообразующих факторов до периода сочетания отрицательных знаков их влияния составляют более трех метров.

В периоды сочетаний различных знаков влияния климатообразующих факторов уровни Арала в общем близки к нулю графика, поскольку два этих фактора оказывают примерно равное влияние на осадки.

Исключение от указанных зависимостей составляет период 1903—1931 гг., характеризующийся катастрофическим подъемом уровня и дальнейшим сохранением (с небольшими колебаниями) его отметок около 1,4—2,0 *м* выше нуля графика. В. В. Голуб-

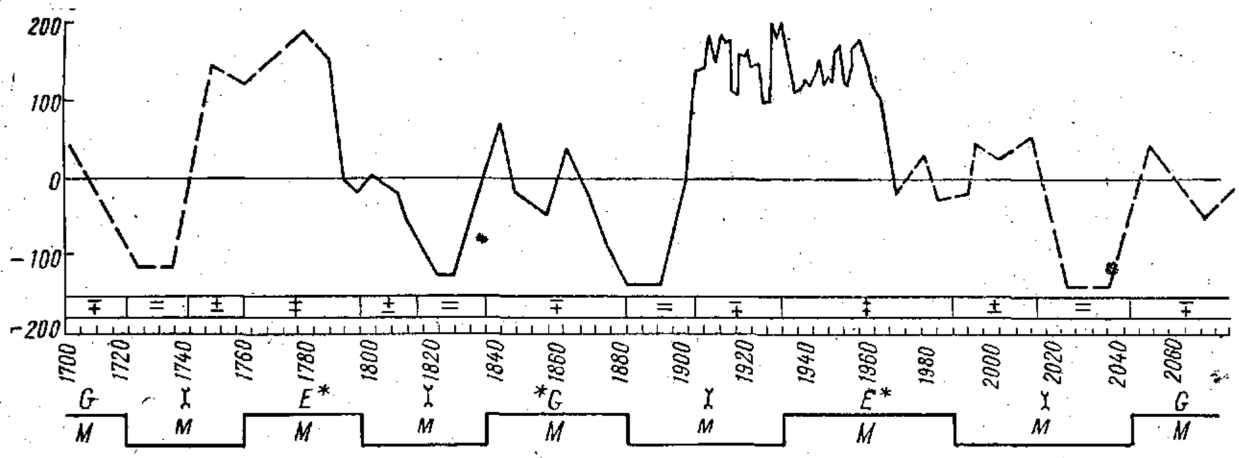



Рис. 1. Многолетний ход уровня Аральского моря и характеристики климатообразующих факторов

цов [9] объясняет такой катастрофический подъем особенностями дельтовых участков русел Сырдарьи и Амударьи, уменьшающих потери стока после низкой водности. В. П. Львов [10, 11] этот

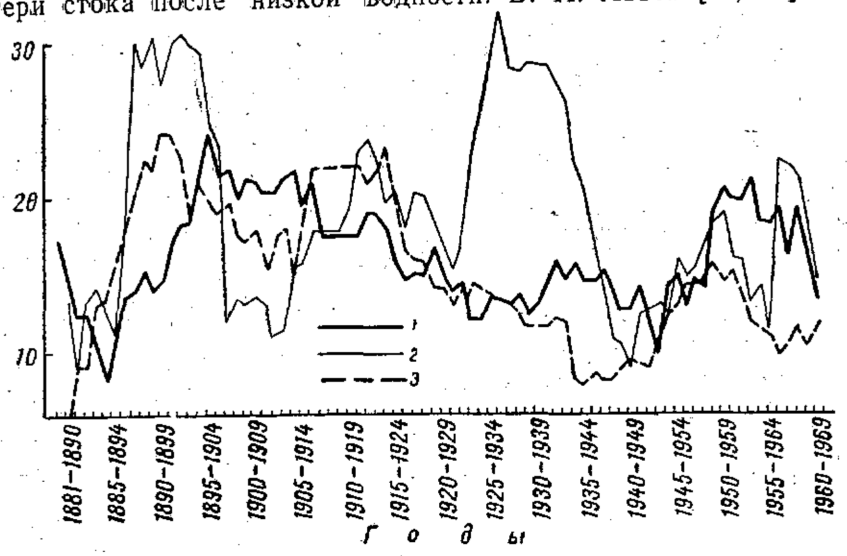



Рис. 2. Скользящие 10-летние средние осадки в Гурьеве: *1* — май, *2* — июнь, *3* — декабрь

подъем Аральского моря объясняет разрушением дамб на Амударье, после чего весь сток этой реки уносился в море.

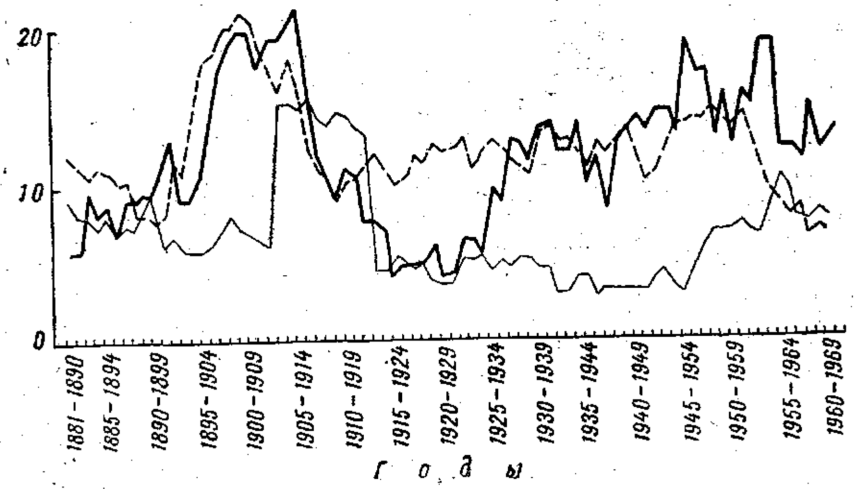



Рис. 3. Скользящие 10-летние средние осадки в Казалинске.
Усл. обозначения см. рис. 2

Большинство же авторов считают, что интенсивное повышение уровня Арала в конце XIX и начале XX века обусловлено повышением увлажнения атмосферными осадками всего приаральского региона. Мы склонны считать, что это мнение также правильно, хотя главную роль могли сыграть обстоятельства, выдвинутые двумя вышеупомянутыми исследователями.

Значительное повышение количества осадков на стыке двух столетий, когда оно достигало полутора — двух норм, не могло не привести к быстрому подъему уровня Арала. Особенно сильное повышение количества осадков в этот период можно заметить, анализируя их многолетний ход для мая, июня и декабря. Такое взрывообразное повышение количества осадков наблюдалось на большинстве станций приаральского региона. На рис. 2 и 3 для примера приведен ход осадков для Гурьева и Казалинска, который подтверждает вышесказанное.

Пользуясь тем, что данные о солнечной активности имеются с начала 18-го столетия и примерно с этого же времени восстановлены циркуляционные эпохи, уровень Аральского моря можно приблизительно представить себе таким, каким он показан на рис. 1 пунктиром.

ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Масштабы колебаний климата и их генетические факторы. Сб. Географические исследования в Казахстане. Изд-во «Казахстан», Алма-Ата, 1968.
2. Байдал М. Х. Многолетние флуктуации климата Казахстана. Сб. «Развитие географических наук в Казахстане». Изд-во «Казахстан», Алма-Ата, 1967.
3. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в 20-м веке. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
4. Байдал М. Х. О структуре влияния солнечной активности на атмосферные осадки. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
5. Байдал М. Х. Засухи и солнечная активность. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1963.
6. Байдал М. Х. К вопросу о масштабах и формах реализации влияния солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
7. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.
8. Байдал М. Х. К вопросу о климатообразующих и климатовозмущающих факторах. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
9. Голубцов В. В., Морозова О. А. О современном водном балансе Аральского моря (см. настоящий сборник).
10. Львов В. П. Колебания уровня Аральского моря за последние сто лет. Труды ГОИН, вып. 46, 1951.
11. Львов В. П. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
12. Байдал М. Х., Кияткин А. К. Настоящее и будущее проблемы Аральского моря (см. настоящий сборник).

*М. Х. БАЙДАЛ*

# РОЛЬ ДИНАМИКИ МГНОВЕННОГО ПОЛЮСА ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ ВО ВНУТРИВЕКОВЫХ КОЛЕБАНИЯХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Как известно [4—8], мгновенный (истинный) полюс вращения Земли (МПВЗ) находится в постоянном вращении вокруг географического полюса и лишь очень редко совпадает с ним. В этом вращении МПВЗ вокруг географического полюса против часовой стрелки он эпизодически то приближается к нему, то удаляется. Такой цикл длится в среднем около 35 лет. Следовательно, траектория МПВЗ выглядит в виде спирали, которая то закручивается, то раскручивается. Это наглядно видно на рис. 1, на котором изображены траектории движения МПВЗ в несколько фаз цикличности. Рис. 1а характеризует фазы закручивания спирали в 1891—

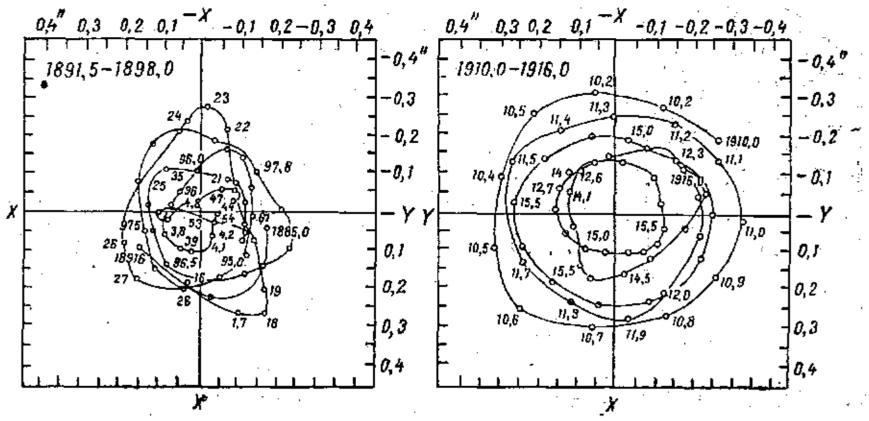



Рис. 1а. Траектория мгновенного полюса вращения Земли

1898 гг. и последующую фазу максимального раскручивания (удаления) в 1910—1916 гг., рис. 1б характеризует следующую фазу закручивания в 1934—1940 гг. и фазу раскручивания в 1952—1957 гг. Наконец, на рис. 1в изображена траектория МПВЗ в 1960—1966 гг., которая предшествовала в фазе закручивания в 1967—1972 гг.

Установлено, [1—3] что с фазами цикла движения МПВЗ тесно

связано движение полюса атмосферной циркуляции, а именно: в фазы закручивания траектории МПВЗ существенно учащается центрально-арктическое местоположение полюса атмосферной цир-

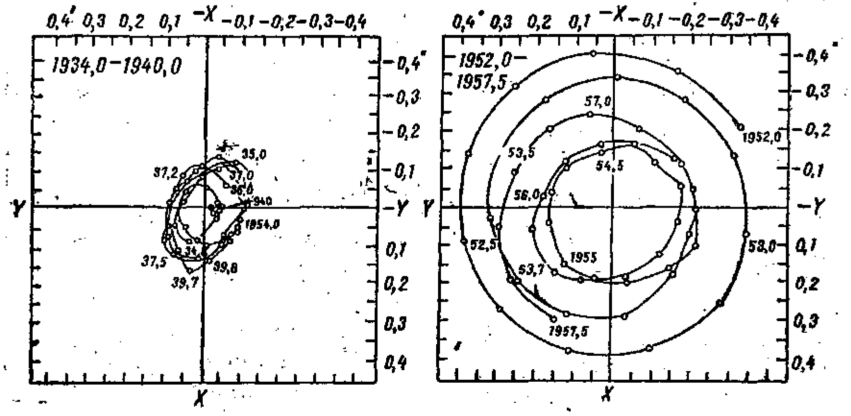



Рис. 1б. Траектория мгновенного полюса вращения Земли

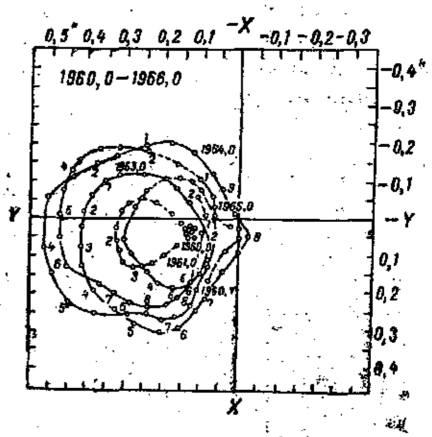



Рис. 1в. Траектория мгновенного полюса вращения Земли

куляции и в соответствии с этим увеличивается повторяемость зональной (широтной) формы циркуляции атмосферы. Это довольно отчетливо видно на рис. 2, свидетельствующем о тесной связи между этими двумя явлениями. В ходе повторяемости широтной циркуляции мы также обнаруживаем циклический характер. Эпизодически ее повторяемость более или менее скачкообразно уменьшается, а затем с колебаниями постепенно увеличивается *(1)* до периода (фазы) закручивания траектории МПВЗ. Многолетний ход повторяемости этой формы циркуляции имеет пилообразный вид, причем подъем осуществляется постепенно, а понижение — скачкообразно.

На рис. 2 наглядно видно также некоторое общее понижение повторяемости зональных процессов циркуляции и уменьшение амплитуды колебаний в рамках отдельных циклов *(2)*. Это явление, видимо, имеет сверхвековой характер и является результатом геодинамических и гелиофизических причин.

Указанные геодинамические циклы (циклы МПВЗ), четко отражаемые на характере атмосферной циркуляции в форме эпизодических зонализаций, не могут не сказаться на многолетнем ходе гидрометеорологических процессов. В работе [1] это убедительно

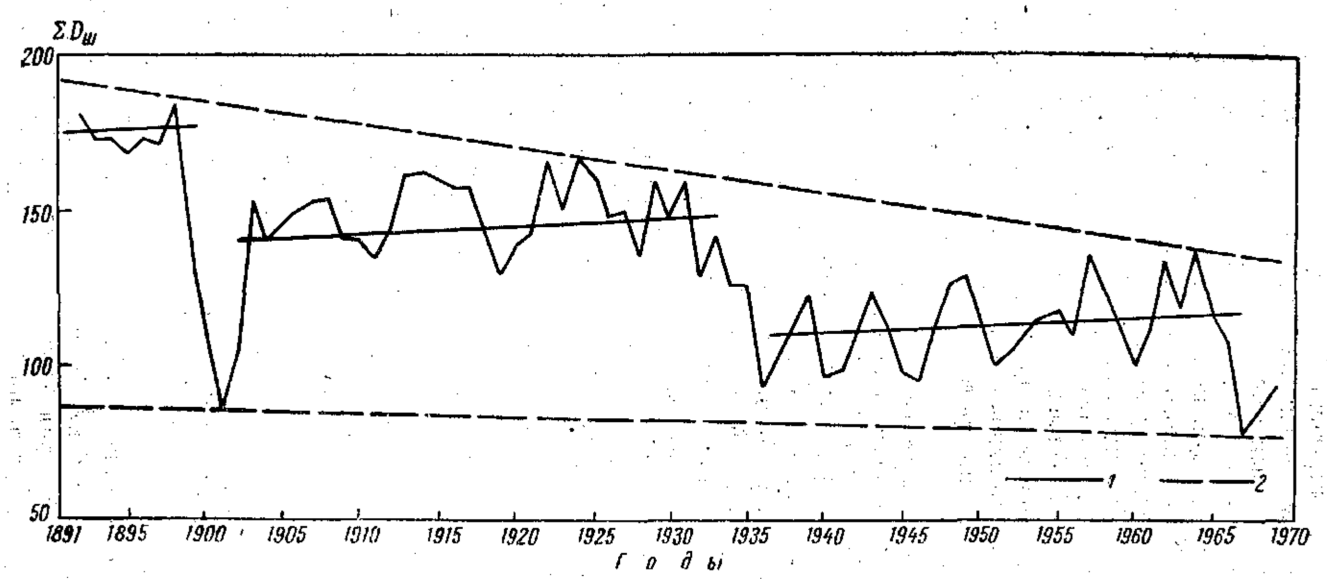



Рис. 2. Многолетний ход годового количества дней с широтной циркуляцией над Евразией

показано на ряде примеров, число которых мы здесь несколько дополним.

В фазу максимального закручивания спирали траектории МПВЗ благодаря увеличению зональности процессов атмосферной циркуляции повышается температура всей планеты и одновременно увеличивается количество осадков, вследствие увеличения обмена теплом и влагой между океанами и континентами.

В фазы максимального закручивания траектории МПВЗ, когда происходит не только учащение повторяемости зональных процессов атмосферной циркуляции, но одновременно и опускание основной (планетарной) высотной фронтальной зоны к югу (с чем связано максимальное развитие полярного антициклона), в средних широтах усиливаются вторжения арктических масс воздуха и скачкообразное понижение температуры воздуха, которая в течение двух-трех лет по средним годовым значениям опускается на несколько градусов.

В течение последнего геодинамического цикла с 1934 по 1968 г. средняя температура в северном полушарии (от 0 до 60° с. ш.) повысилась почти на 0,5°, но за последующие два-три года она уже успела понизиться на 0,3°. Это, конечно, не значит, что возможен очередной ледниковый период. В самые последние годы мы можем констатировать перелом в ходе температуры. В ближайшем будущем она зигзагообразно снова будет продолжать повышаться как в целом на полушарии, так и в отдельных его частях. При этом интенсивность повышения температуры воздуха не всюду одинакова. В одних районах она особенно велика, а в других практически незаметна. В некоторых районах она может даже несколько понижаться. Так, в годы максимального подъема температуры, на-

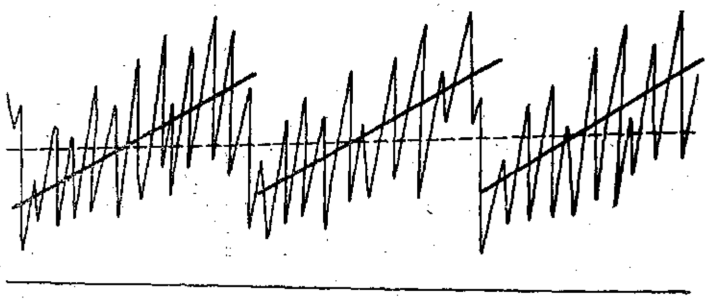


Рис. 3. Модель многолетних колебаний средней месячной температуры воздуха

ступающего в последней части фазы цикла МПВЗ, в высоких широтах она заметно понижается.

Моделированный вид хода температуры воздуха в геодинамических циклах приведен на рис. 3. В действительности ход температуры может быть, конечно, гораздо сложнее, ибо на общий характер, отражающий циклы МПВЗ и двухлетнюю цикличность,

накладываются также изменения, обусловленные эпохами различных типов циркуляции, продолжительность которых меньше (в три-четыре раза), чем циклы МПВЗ.

В качестве примера хода температуры по циклам мы приводим на рис. 4 ход январской температуры воздуха по скользящим пятилетним средним значениям на ст. Форт-Шевченко (на п-ве Ман-

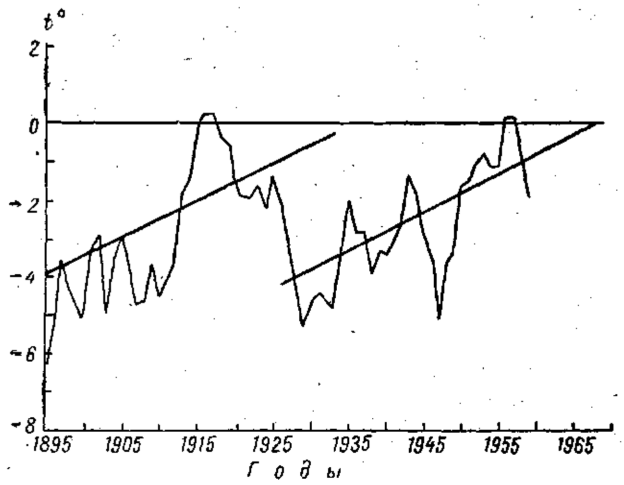



Рис. 4. Ход температуры на ст. Форт-Шевченко по скользящим 5-летиям в январе

гышлак), имеющей длинный ряд наблюдений. Этот рисунок почти не требует дополнительных объяснений, ибо он исключительно четко подтверждает сказанное выше. Отметим только, что среднемесячные значения температуры воздуха колебались в циклах МПВЗ от —6 до +0,3°. Это, конечно, признак очень глубоких колебаний климата. Даже осреднения по скользящим десятилетиям показывают для этой станции колебания $> 4°$.

Рис. 5 также четко характеризует ход средней годовой температуры воздуха в Челкаре и Казалинске по скользящим десятилетиям. В пределах цикла МПВЗ видна определенная тенденция к повышению температуры, а у границы цикла довольно резкий спад.

Отражение геодинамического цикла на климате Северного Казахстана можно видеть на примере температуры Кустаная и Петропавловска (рис. 6).

Чтобы не создалось впечатление о локальном проявлении в колебаниях климата цикла МПВЗ, мы приводим также графики хода температуры в период последних двух циклов для некоторых станций, значительно удаленных от бассейна Аральского моря (рис. 7).

Таким образом, и в широтном (Киев, Тбилиси, Форт-Шевченко, Казалинск), и в меридиональном направлениях (Ленинград, Петропавловск, Кустанай, Челкар, Казалинск) отмечаются почти одно-

временные и однообразные колебания температуры воздуха, связанные с колебаниями атмосферной циркуляции, обусловленным

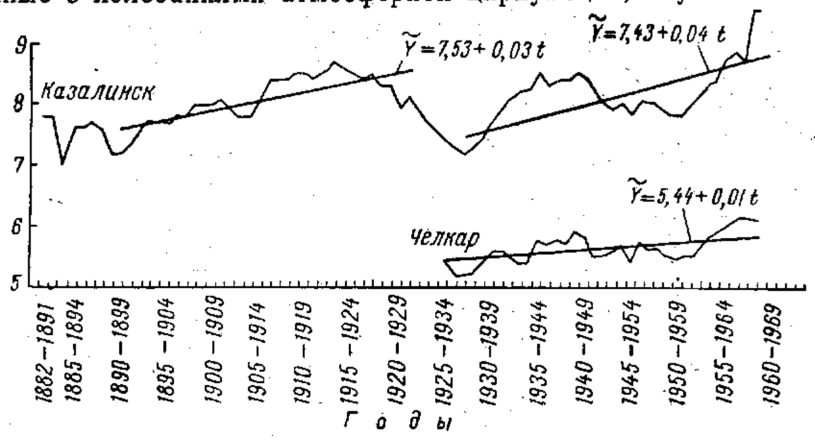



Рис. 5. Скользящие 10-летние среднегодовые температуры воздуха в Челкаре и Казалинске

геодинамическими причинами. Всюду главнейшей особенностью многолетних колебаний температуры воздуха (кроме сверхвекового тренда) являются колебания, обусловленные циклами МПВЗ.

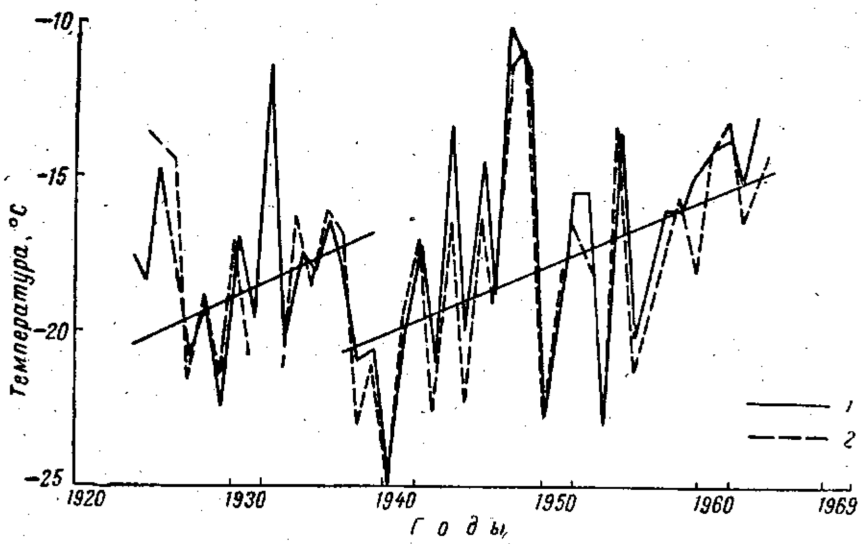



Рис. 6. Средняя январская температура воздуха в Кустанае (*1*) и Петропавловске (*2*)

Отмеченные выше особенности в многолетнем ходе температуры воздуха являются в общем характерными также для атмосферных осадков, хотя в этом элементе погоды мы не замечаем резкого

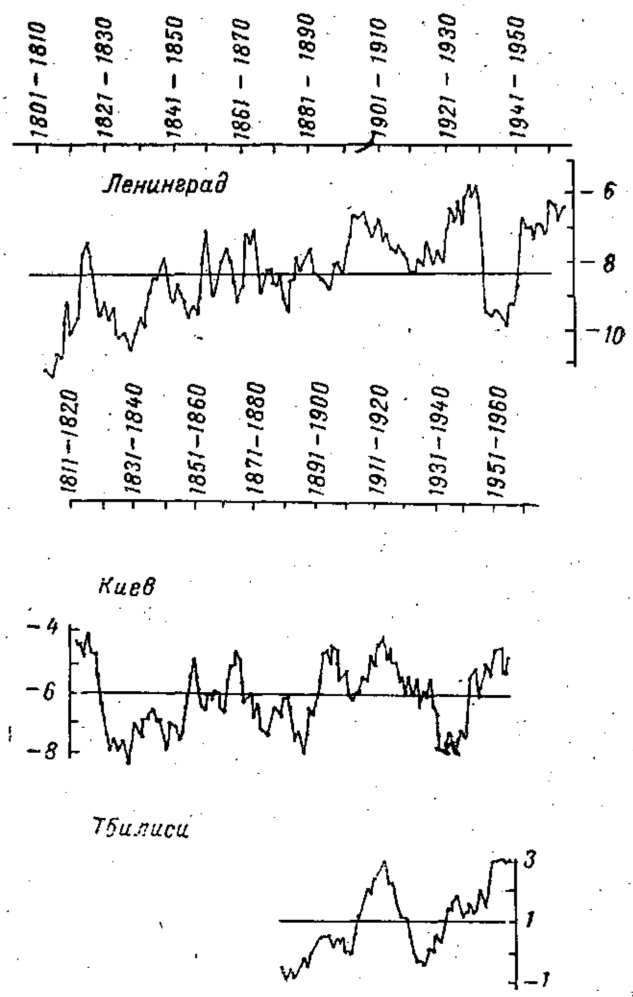



Рис. 7. Скользящие 10-летние средние температуры. Январь

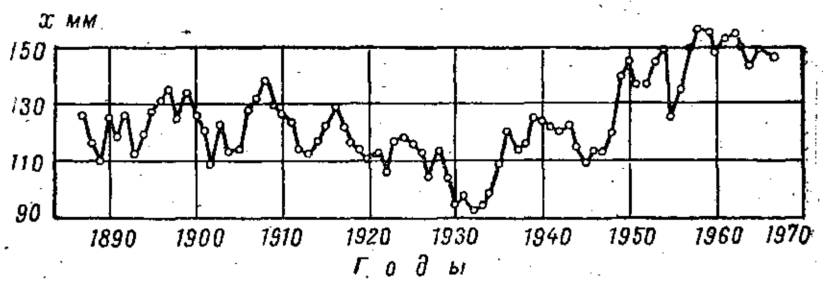



Рис. 8. Атмосферные осадки в Северном Приаралье (гидрологический год, XI—X); 6-летние скользящие

скачка на стыке геодинамического цикла. На рис. 8, заимствованном из работы [9], приведем ход 6-летних средних величин осадков, который характеризует в течение последнего цикла МПВЗ увеличение годовых осадков от 90 до 157 *мм*. Такое увеличение отмечается также в ходе осадков всего Приаралья и бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи.

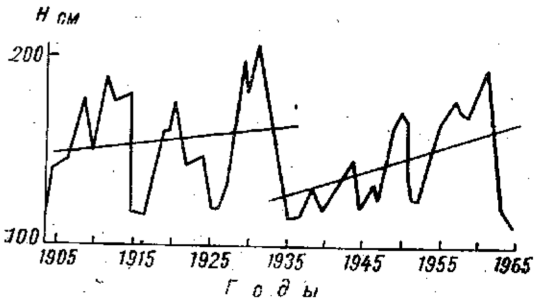



Рис. 9. Ход уровня Аральского моря в отметках над нулем графика (51, 494 *м*)

Естественно, что циклические особенности в многолетнем ходе температуры воздуха и осадков не могли не сказаться на многолетнем ходе уровня Аральского моря, в чем мы можем убедиться, обратившись к рис. 9. Со значительными колебаниями уровень Арала к началу сороковых годов текущего столетия поднялся почти до 200 *см*, после чего он резко упал в начале последнего цикла до 115 *см*.

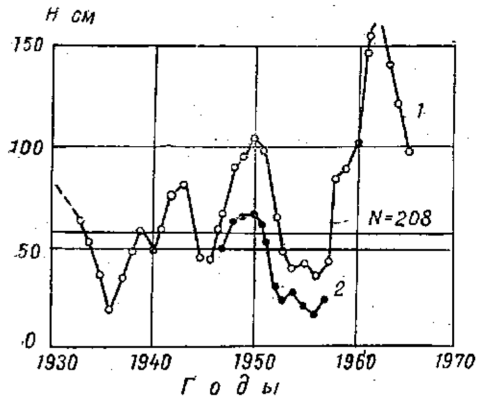



Рис. 10. Ход уровня Кулундинского озера (*1*) и МПВЗ (*2*)

За 25 лет последнего цикла МПВЗ уровень Аральского моря опять поднялся до 180 *см*. Впоследствии орошение привело к нарушению естественного хода уровня. В 1961—1965 гг. произошло резкое понижение уровня, причиной было также естественное понижение, соответствующее началу нового цикла МПВЗ. Поэтому можно сказать, что в новом начавшемся цикле, который продлится примерно до 2000 г., водозабор из Амударьи и и Сырдарьи частично (возможно и значительно) будет компенсироваться за счет осадков.

В связи с колебаниями основных компонентов климата в циклах МПВЗ соответствующим образом меняются уровни и других бессточных водных бассейнов, что видно из рис. 10 по Кулундинскому озеру [9], уровень которого в середине сороковых годов, т. е. в начале геодинамического цикла, опускался до 20 *см*, затем

к началу семидесятых годов дошел почти до 110 *см*. В середине семидесятых годов его уровень также значительно понизился. Аналогичное явление наблюдалось в текущем столетии также на оз. Чаны и других замкнутых бассейнах. Это мы видим одновременно на многолетнем ходе объема и уровня половодья крупных рек. Так, уровень Волги у Астрахани от начала столетия до 1936 г. поднялся почти на 50 *см*, а затем в конце тридцатых и начале сороковых годов упал от 170 до 70 *см*.

Резко реагируют на колебания климата в циклах МПВЗ и ледники. Величина ледникового стока с Центрального Туюксуйского ледника (Заилийский Алатау) в пределах последнего цикла увеличилась от 50 до 300 тыс. $м^3$. Известно также, что ледник Старр (Швеция) в течение 20 лет последнего цикла МПВЗ уменьшился по толщине на 10 *м*.

В заключение можно еще раз подчеркнуть, что геодинамический цикл (цикл МПВЗ) является одним из существенных факторов, влияющих через атмосферную циркуляцию на гидрометеорологический режим в глобальных масштабах.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX-м столетии. Гидрометеоиздат. Л., 1971.
2. Байдал М. Х. Типы атмосферной циркуляции, определяющие колебания климата бассейна Аральского моря (см. настоящий сборник).
3. Байдал М. Х. О диагностико-прогностическом значении геоклиматического цикла. Труды КазНИГМИ, вып. 51, 1971.
4. Карелин Д. Б. Завоевание полюсов. Гидрометеоиздат, Л., 1947.
5. Куликов К. А. Движение полюсов Земли. АН СССР. М., 1962.
6. Максимов И. В. К изучению свободных и вынужденных движений Земли. Проблемы Арктики, вып. 1, 1957.
7. Максимов И. В., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Океан и космос. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
8. Михайлов А. А. О вековом движении земных полюсов. Астрономический ж., т. 47, вып. 6. Наука, М., 1970.
9. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Наука, Л., 1969.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СВЯЗИ ГОДОВЫХ И ЛЕТНИХ СУММ ОСАДКОВ В ПРИАРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Диагноз пространственно-временных связей атмосферных осадков имеет большое значение для гидрометеорологического и агроклиматического районирования, долгосрочного прогнозирования и пр. В частности, вопрос о пространственно-временных связях осадков представляет интерес при рассмотрении цикличности этого элемента.

Многие авторы [1, 2], изучающие циклические особенности в многолетнем ходе атмосферных осадков, вынуждены констатировать, что циклы различной длительности не устойчивы во времени и в пространстве. Необходимо говорить в пространстве, а не по территории, ибо, как показали исследования, цикличность определенным образом меняется и с высотой [3, 4].

Правда, авторы, изучающие цикличность гидрометеорологических элементов, столкнувшись с фактами неустойчивости циклов во времени и в пространстве, не выдвигают серьезных утверждений о причинах этого явления, указывая лишь мимоходом на вероятность того, что каждый ранг цикличности, очевидно, имеет свою причину. В принципе такие гипотезы, видимо, справедливы. Однако практическое использование цикличности и даже правильное истолкование ее многоранговости и неравномерное распределение по территории от этого яснее не становятся.

Необходимо подробно исследовать географическое распределение каждого ранга цикличности, сопоставить это распределение с атмосферно-циркуляционными факторами и временным ходом характеристик основных климатообразующих факторов, а затем методом компонентного анализа установить причины различных циклов.

Поэтому, перед тем как анализировать циклические явления внутри приаральского региона, рассмотрим две характеристики связи годовых и летних осадков — коэффициенты корреляции и коэффициенты аналогичности. Первая из этих коэффициентов, как известно, свидетельствует о средней тесноте попарных значений двух коррелируемых рядов. Этот коэффициент вычисляют по различным формулам, ни одна из которых не учитывает аналогичность хода кривых двух элементов во времени.

Ниже, в табл. 1, мы приводим значения коэффициентов корреляции (ассоциации) между количеством осадков побережья Ара-

*Таблица 1*

**Значение коэффициентов корреляции между суммами осадков побережья Аральского моря и отдельных станций**

| Коррелируемые станции | Значение коэффициента корреляции | |
|---|---|---|
| | годовые осадки | летние осадки |
| Аральское море | 0,85 | 0,94 |
| Казалинск | 0,88 | 1,00 |
| Муйнак | 0,68 | 0,74 |
| Аяк-Кум | 0,85 | 1,00 |
| Челкар | 0,54 | 0,50 |
| Чирик-Рабат | 0,44 | 0,68 |
| Нукус | 0,48 | 0,44 |
| Кунград | 0,20 | 0,54 |
| Актюбинск | 0,20 | 0,16 |
| Тургай | 0,06 | 0,36 |
| Карсакпай | 0,23 | 0,35 |
| Чиили | 0,74 | 0,72 |
| Форт-Шевченко | 0,94 | 0,71 |
| Гурьев | 0,47 | 0,56 |

*Таблица 2*

**Значения коэффициентов аналогичности многолетнего хода осадков побережья Аральского моря и отдельных станций**

| Сопоставляемые станции | Значение коэффициента аналогичности | |
|---|---|---|
| | годовые осадки | летние осадки |
| Аральское море | 0,69 | 0,70 |
| Казалинск | 0,84 | 0,74 |
| Муйнак | 0,38 | 0,44 |
| Аяк-Кум | 0,70 | 0,67 |
| Челкар | 0,36 | 0,42 |
| Чирик-Рабат | 0,36 | 0,24 |
| Чимбай | 0,43 | 0,35 |
| Нукус | 0,41 | 0,32 |
| Кунград | 0,54 | 0,73 |
| Чиили | 0,66 | 0,74 |

ла и станциями прибрежных и отдаленных районов. Эти коэффициенты вычислены по формуле:

$$R = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+c)(b+d)(c-a)(a+b)}},$$

где значения *a, b, c, d* характеризуют различные соотношения знака аномалий сравниваемых элементов.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что коэффициент корреляции в рассматриваемом регионе между осадками Арала и отдаленными станциями изменяется прежде всего не в связи с масштабом удаления, а с направлением от Арала к станциям. К северу и югу коэффициент быстро уменьшается, хотя и остается положительным. Так, Челкар характеризуется коэффициентом 0,54, а Кунград — даже 0,20. Более удаленные от Арала в северном направлении станции — Актюбинск и Тургай — имеют коэффициенты корреляции соответственно 0,20 и 0,06.

В широтном направлении, напротив, связи осадков характеризуются более высокими значениями коэффициентов корреляции. Даже осадки Форта-Шевченко, расположенного в шесть раз дальше, чем Челкар, связаны коэффициентом 0,94. Медленно уменьшается коэффициент в восточном направлении. Так, Чиили, расположенный в четыре раза дальше от побережья Арала, чем Челкар, характеризуется коэффициентом 0,74.

Эта особенность распределения связи (малый градиент изменчивости коэффициента корреляции в широтном направлении и больший градиент в меридиональном направлении) между осадка-

ми рассматриваемого региона объясняется атмосферно-циркуляционными закономерностями, а именно: широтной ориентировкой полярного и арктического фронтов. Как в среднем годовом, так и в сезонном осреднении атмосферные фронты ориентированы с запада на восток с сезонным изменением широты расположения.

Однако указанное расположение атмосферных (климатологических) фронтов соблюдается лишь в осреднении за много десятков лет, в течение которых стираются различия, обусловливаемые эпохами преобладания меридиональных форм циркуляции. При чистом проявлении последних наибольшие изменения в количестве осадков наблюдаются в широтном направлении и наименьшие — в меридиональном.

Отсюда вытекает обязательная необходимость учета циркуляционных эпох во всех исследованиях пространственно-временных закономерностей структуры гидрометеорологического режима. Особенно важно учитывать наличие циркуляционных эпох при всякого рода районировании и в особенности в случаях коротких рядов наблюдений.

Корреляционные связи летних осадков в общем по рассматриваемой территории выше. Однако и в этом случае сохраняется указанная особенность территориального изменения коэффициента корреляции.

Следовательно, последний характеризуется прежде всего не расстоянием, а общеклиматическими и прежде всего атмосферно-циркуляционными особенностями.

Для оценки степени аналогичности многолетнего хода осадков вышеприведенный показатель (да и многие другие) применим быть не может. Поэтому мы применили специальный коэффициент аналогичности, который вычисляется по формуле

$$A = K \frac{P_1}{P_2} \sqrt{\cos \alpha},$$

где $P_1/P_2$ — среднее отношение площадей между двумя ординатами сопоставляемых кривых, $\alpha$ — средний угол между отрезками кривых.

Данные об аналогичности многолетних кривых годовых и летних сумм осадков, вычисленных по этой формуле, приведены в табл. 2. Эти данные, к сожалению, получены в основном только для ближайшего Приаралья и поэтому по ним трудно судить, в каком направлении от Аральского моря быстрее затухает аналогичность. Тем не менее видно, что ст. Чиили имеет коэффициент аналогичности в два раза выше, чем Челкар, который находится ближе в Аралу.

В целом для осадков рассматриваемого региона характерны положительные коэффициенты корреляции и аналогичности, но их изменение тесно связано с ориентировкой сопоставляемых станций.

Особенности циклов в многолетнем ходе осадков видны из данных табл. 3. На большинстве станций региона четко проявляются

*Таблица 3*

**Цикличность годовых сумм атмосферных осадков Приаральского региона**

| Пункт | Продолжительность циклов, дни | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Казалинск | | | | + | | | | | | + | | | | + | | | | + | | | | | | | | | | + | | |
| Аральское море | | | | | + | | | | | + | | | | + | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| Муйнак | | | + | | | | + | | + | | | | | | | | | + | | | | | + | | | | + | | |
| Аяк-Кум | | | + | | + | | | + | | + | | | | | + | | | + | | | | | | | | | | | |
| Челкар | | + | | | + | | + | | | | | + | | | | | + | | | | | | | | | | + | | |
| Чирик-Рабат | | | | + | | | | | + | | | | + | | | | | + | | | | | + | | | | + | + | |
| Чимбай | | | | + | | | | | + | | | | | | | | | + | | | | | | | | | + | | | |
| Актюбинск | | + | | + | | | + | | | | | | | + | | | | + | | | | | | | | | + | | |
| Тургай | | | | + | | | | | + | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | + | | |
| Карсакпай | | + | | + | | | + | | + | | + | | + | | + | | | + | | | | | | + | | | + | + | |
| Кзыл-Орда | | + | | + | | | | | + | | | | | + | | | | + | | | | | | | | | | + | | |
| Чиили | | + | | | + | | | | + | | | | | | + | | | + | | | | | | + | | | + | | |
| Нукус | | + | | | + | | | | | | + | | | + | | | | + | | | | | | | | | + | | + | |
| Форт-Шевченко | | + | | + | | | + | | | | + | | | | | | + | | | | | | | + | | | | | + | |
| Гурьев | | + | | + | | | | | + | | | | | | + | | | | + | | | | | + | | | | + | | |
| Турт-Куль | | + | | | | | | | | + | | | | | | | | + | | | | | | | | | + | | | |
| Среднее по побережью Аральского моря | | | | + | | | | | + | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | + | | |
| Распространенность цикла по территории (%) | | 69 | | 88 | | | 38 | | | 88 | | | | 62 | | | | 100 | | | | | | 38 | | | | 88 | | |

следующие циклы: 2, 4—5, 9—11, 17—19 и 27—29, степень распространенности которых доходит до 88—100%. Особенно регулярен цикл в 18 лет, который, наблюдался на всех станциях и на 75% из них не имеет смещений в сторону удлинения или укорочения.

Следует заметить, что двухлетняя цикличность на береговых и близких к побережью станциях не наблюдается, что было отмечено нами и при рассмотрении двухлетней цикличности по всей территории Казахстана для других метеорологических элементов и сезонных явлений [5].

Не наблюдается в районе Аральского моря и 24-летний цикл, который характерен для ряда других станций. Наконец, следует отметить и то, что в районе моря короткие циклы более расплывчаты, нежели на других станциях.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества атмосферных осадков на территории СССР. Труды ГГО, вып. 245, 1969.
2. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
3. Байдал М. Х., Бурцева Л. Н. Связь двухлетней цикличности осадков в горах Заилийского Алатау с солнечной активностью. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
4. Байдал М. Х. Расчет площади сокращения Центрального Туюксуйского ледника и общая тенденция динамики ледников в предстоящем десятилетии. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
5. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.

*Л. Е. СУСЛОВ*

# ЦИКЛИЧНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ОСАДКОВ В ПРИАРАЛЬЕ

Район Аральского моря и примыкающих к нему пустынных и полупустынных равнин беден осадками. В Северном Приаралье средняя годовая сумма осадков не превышает 150 *мм*. Еще менее обеспечено осадками Южное Приаралье в междуречье Амударьи и Сырдарьи. Годовое количество осадков составляет здесь около 100 *мм*. Непосредственный вклад этих осадков в водный баланс Аральского моря невелик. Однако нужно иметь в виду, что одновременно с осадками на гидрологический режим моря значительное влияние оказывают и сопутствующие им гигротермические условия погоды: температура и влажность воздуха, облачность и многие другие атмосферно-физические факторы. Поэтому количественные характеристики осадков являются своего рода комплексными показателями увлажнения территории, отображающими особенности водного режима моря и питающих его рек.

Влияние гигротермических факторов сказывается прежде всего на испарении с водной поверхности и поверхности почвы, на интенсивности транспирации влаги растительностью, на уровнях грунтовых вод, на величине речного стока, являющегося основным источником пополнения вод Аральского моря и т. д. В конечном итоге влияние гигротермических факторов сказывается на водном балансе Аральского водоема. Наиболее значительно влияние осадков и гигротермических факторов на сток Амударьи и Сырдарьи проявляется в условиях водосборов этих рек, где происходит формирование речного стока.

Определяющую роль в режиме осадков над Казахстаном, как показал М. Х. Байдал [1], играют макроциркуляционные условия района и их сезонные колебания. В частности, в районе Аральского моря и в Приаралье режим осадков определяется главным образом степенью преобладания в те или иные периоды Восточно-Европейского типа циркуляции атмосферы *Е*. Из работ М. Х. Байдала [1] и В. В. Голубцова [4] известно, что водный бассейн Аральского моря, Приаралья и территории водосборов Амударьи и Сырдарьи относится к одному и тому же макроциркуляционному району. В связи с этим, в периоды активизации атмосферных процессов типа *Е* над указанными территориями имеет место одновременное повышение уровня увлажнения. При ослаблении про-

цессов восточно-европейского типа в этих районах преобладает сухая погода. Следовательно, закономерности временного хода осадков и других гидрометеорологических характеристик, присущие районам Аральского моря и Приаралья, являются в определенной мере характерными и для районов водосборов рек аральского бассейна.

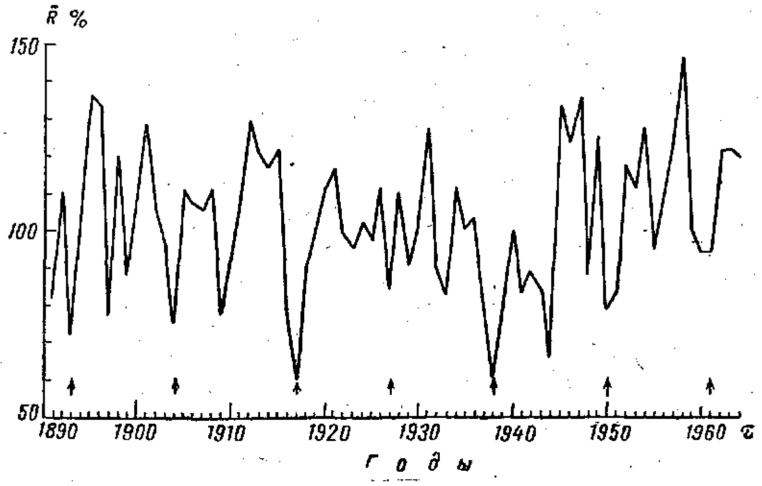



Рис. 1. Временной ход средних групповых характеристик годового количества осадков ($R$% к норме) для Джамбула, Казалинска и Оренбурга

Характеристики многолетнего хода осадков для отдельных пунктов и районов Казахстана рассматривались в работах М. Х. Байдала [2], В. В. Голубцова [4], А. Т. Кузнецова [7], В. И. Коровина [8], Л. Е. Суслова [10, 12] и других исследователей. Целью настоящей работы является дальнейшее изучение закономерностей многолетних колебаний осадков в Приаралье. В работе основное внимание уделяется выявлению цикличности во временных вариациях количественных характеристик осадков.

При рассмотрении особенностей временного хода осадков в Приаралье были использованы данные годовых сумм осадков за период 1891—1964 гг. по трем наиболее полнорядным и относящимся к одному и тому же макроциркуляционному району метеорологическим станциям — Джамбулу, Казалинску и Оренбургу. Годовые суммы осадков отдельно для каждой станции были выражены в процентах относительно нормы, и на основе полученных данных были определены средние для трех станций погодичные характеристики количества осадков. Временной ход средних групповых значений количества осадков (% к норме) представлен на рис. 1.

В морфологии кривой хода осадков хорошо заметно более или менее равномерное распределение по времени экстремально проявляющихся минимумов (показано стрелками). Экстремальные ми-

нимумы относятся к 1893, 1904, 1917, 1927, 1938, 1950 и 1961 гг. Из семи минимумов только один,относящийся к 1927 г., оказался не очень глубоким, остальные же шесть полностью соответствуют критерию экстремальности. Промежутки времени между экстремумами минимумов составляют в хронологической последовательности ряда 11, 13, 10, 11, 12 и 11 лет. Средняя же продолжительность равна 11,3 года.

Устойчивое сохранение продолжительности интервалов времени между экстремальными минимумами в ходе осадков Приаралья свидетельствует, по нашему мнению, о циклической природе колебания осадков в этом районе. Весьма близкое совпадение средней продолжительности циклов колебания осадков (11,3 года) и известных циклов активизации солнечных процессов (11,2 года) делает в определенной мере правдоподобной гипотезу о солнечной обусловленности атмосферных процессов осадкообразования.

Характерной особенностью хода осадков Приаралья является то, что каждый из рассматриваемых шести циклов ряда делится на два меньших по амплитуде цикла, т. е. каждый 11—12-летний цикл делится на два 5-6-летних цикла. Последние в свою очередь делятся на два 2-3-летних цикла. Следует заметить, что срединные минимумы, делящие более крупные циклы на две части, имеют значительно меньшую глубину, чем краевые, ограничивающие эти циклы, минимумы. В системе циклов более высокого порядка указанные краевые минимумы в свою очередь становятся срединными и т. д. Таким образом, в циклической системе колебания осадков в Приаралье каждая пара морфологически связанных между собой циклов низшего порядка составляет один целый цикл более высокого порядка. Последние свидетельствуют о ранговой соподчиненности циклов колебания осадков. Парное сочетание циклов характерно, вероятно, и для более крупных (по сравнению с рассматриваемыми) многолетних и вековых циклов колебания осадков. На наличие парности в различного рода многолетних и вековых циклах колебания солнечной активности и некоторых геофизических характеристик указывается в работах М. С. Эйгенсона [13], П. М. Джурковича [5], Л. Е. Суслова [12] и других исследователей. Высказывания в пользу солнечной обусловленности колебания различных геофизических факторов имеются в монографиях Эйгенсона [13] и Байдала [1], в работах Суслова [10—12] и др.

Подтверждением факта наличия цикличности в колебаниях групповых характеристик осадков для Джамбула, Казалинска и Оренбурга является также временной ход корреляционной функции ($r_t$) знака аномалий этих характеристик (рис. 2). Определение корреляционной функции знака аномалий делалось по приведенной в монографии К. Брукса и Н. Карузерса [3] формуле четырехгрупповой корреляции. Анализ временного хода корреляционной функции показал, что продолжительность отдельных циклов ее колебания составляет в хронологическом порядке 6, 7, 6, 5 и 6 лет. В среднем она равна 6 годам. Последнее подтверждает реальность существования 5-6-летних циклов в колебаниях осадков

Приаралья. Указание на наличие 5-6-летней цикличности в ходе осадков Приаралья имеются также и у О. А. Дроздова [6]. Для внутрициклической структуры 6-летних циклов, так же как и для

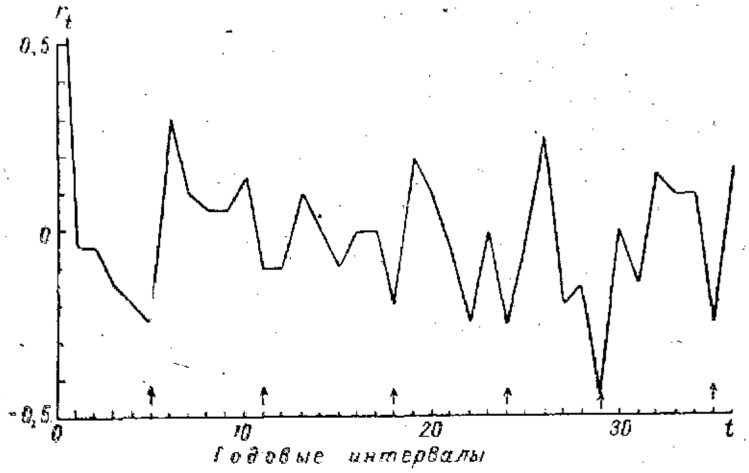



Рис. 2. Корреляционная функция ($r_t$) групповых аномалий годового количества осадков для Джамбула, Казалинска и Оренбурга

11-12-летней цикличности, характерно их раздвоение, т. е. деление каждого из них на два 2-3-летних цикла.

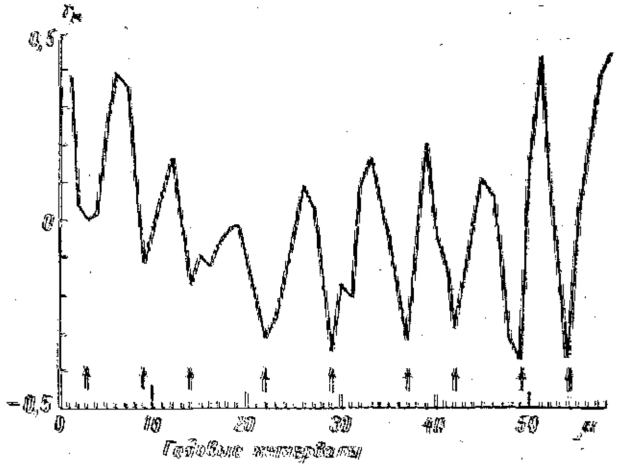



Рис. 3. Корреляционная функция ($r_n$) групповых аномалий годового количества осадков для 84 станций Казахстана

Дополнительным подтверждением существования 5-6-летних циклов колебания осадков в Приаралье является временной ход представленной на рис. 3 корреляционной функции ($r_n$) осредненных для всей территории Казахстана аномалий количества осад-

ков. Эти осредненные значения осадков включают данные для 84 станций Казахстана. В них входят и данные станций, расположенных на территории Аральского бассейна. Для вычисления корреляционной функции мы воспользовались формулой, приведенной в работе Г. А. Паповского и Г. В. Брайера [9]. Формула имеет вид

$$r_\mu = \frac{\Sigma (X_i - \bar{X})(X_{i+\mu} - \bar{X})}{S_x^2 N},$$

где $r_\mu$ — коэффициент корреляции, $X_i$ — значения коррелируемой характеристики, $\mu$ — запаздывание (годовые интервалы), $S_x^2$ — среднее квадратическое отклонение, $N$ — число коррелируемых пар.

Стройная система циклов корреляционной функции средних значений аномалий осадков с несомненностью свидетельствует о циклическом характере многолетних колебаний осадков в Казахстане, в том числе и на территории Аральского бассейна. Средняя продолжительность этих циклов, так же как и циклов, полученных непосредственно для территории Приаралья, близка к шести годам.

Из анализа приведенных выше данных можно сделать следующие выводы.

1. Многолетние колебания осадков в Приаралье имеют циклический — многоритмический характер.

2. Продолжительность циклов колебания осадков в пределах исследуемых рядов составляет около 2-3, 5-6 и 11-12 лет.

3. В колебаниях осадков в Приаралье имеет место парная цикличность и ранговость соподчинения малых по продолжительности циклов — большим, т. е. два 2-3-летних цикла образуют один 5-6-летний цикл, а два 5-6-летних цикла образуют 11-12-летний цикл и т. д.

4. Ранговой соподчиненностью связаны также и амплитуды циклов колебания осадков: большим по продолжительности циклам соответствуют большие по величине амплитуды колебания, а малым циклам — малые амплитуды. Подобного рода соподчиненность и парность характерна, вероятно, для всего спектра колебаний осадков и других гидрометеорологических и геофизических факторов.

5. Наличие макроциркуляционной однородности для всех территорий Аральского бассейна и циклический характер многолетних колебаний осадков в Приаралье создает предпосылки для построения новых более рациональных схем долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования погодно-климатических характеристик района и гидрологических характеристик Аральского моря и впадающих в него рек.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. I и II. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
2. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.

3. Брукс К. и Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии, перевод с англ. Гидрометеоиздат, Л., 1963.
4. Голубцов В. В. О внутривековых колебаниях водоносности рек. Труды КазНИГМИ, вып. 26, 1967.
5. Джурковичп. М. Солнечная система эпох минимумов и максимумов активности солнечных пятен в интервале 1810—1954 гг. Бюллетень комиссии по исследованию Солнца (АН СССР), № 6, 1956.
6. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества атмосферных осадков на территории СССР. Труды ГГО, вып. 245, 1969.
7. Климат Казахстана. Гидрометеоиздат, Л., 1959.
8. Коровин В. И. Влияние гидрометеорологических условий на сток рек и уровень озер бассейнов рек Верхнего Иртыша и Балхаш-Алакольской впадины. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
9. Пановский Г. А. и Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии, перевод с англ. Гидрометеоиздат. Л., 1967.
10. Суслов Л. Е. Двойные вековые циклы солнечной активности и их геофизические проявления. Труды КазНИГМИ, вып. 19, 1963.
11. Суслов Л. Е. О многолетних колебаниях характеристик циркуляции атмосферы и их связи с временными колебаниями солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 31, 1968.
12. Суслов Л. Е. Об особенностях распределения и многолетних колебаниях аномалий температуры воздуха и осадков в Казахстане в различные эпохи циклов солнечной деятельности. Труды КазНИГМИ, вып. 31, 1968.
13. Эйтенсон М. С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Изд. Львовского госуниверситета, 1957.

*В. В. ГОЛУБЦОВ, О. А. МОРОЗОВА*

# О СОВРЕМЕННОМ ВОДНОМ БАЛАНСЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Водный баланс Аральского моря был составлен впервые Дорантом в 1878 г. В последующие десятилетия он неоднократно уточнялся [3, 5, 13, 16, 18, 19, 22 и др.]. В табл. 1, составленной В. П. Львовым [7], приведены результаты оценки значений элементов водного баланса Аральского моря по материалам исследований, выполненных за период с 1878 по 1966 г.

Сведения о значениях элементов водного баланса, приведенные в табл. 1, получены авторами за различные периоды и в ряде случаев практически не сопоставимы между собой. Несмотря на это, приведенные данные в большинстве случаев не потеряли практической ценности и до настоящего времени. Большую научную и практическую ценность представляют исследования, выполненные в последнее десятилетие [3, 13, 18, 22]. При исследовании водного баланса Аральского моря наименее точно определяются такие его элементы, как приток поверхностных вод и испарение с водной поверхности. Величина подземного притока количественно и достаточно достоверно еще никем не оценена. Все это заставляет исследователей, занимающихся проблемой Аральского моря, неоднократно возвращаться к исследованию его баланса. В настоящее время в связи с изучением колебаний климата в рассматриваемом бассейне возникает необходимость исследования и дальнейшего уточнения его элементов.

Уравнение водного баланса бессточного водоема для годовых отрезков времени имеет, как известно, следующий вид:

$$W_{\text{пов. пр}} + W_{\text{позд. пр}} + W_{\text{ос}} - W_{\text{ис}} = \pm \Delta W, \qquad (1)$$

где $W_{\text{пов. пр}}$ — поверхностный приток в *км*³, $W_{\text{подз. пр}}$ — подземный приток в *км*³; $W_{\text{ос}}$ — атмосферные осадки на поверхность моря в *км*³, $W_{\text{ис}}$ — испарение с поверхности моря в *км*³.

Величину поверхностного притока — $W_{\text{пов. пр}}$ можно выразить следующим образом:

$$W_{\text{пов.пр}} = W'_{\text{пов. пр}} - W_{\text{п}}, \qquad (2)$$

где $W'_{\text{пов. пр.}}$ — поверхностный приток, определяемый по стоку р. Амударьи у кишлака Чатлы и р. Сырдарьи у г. Казалинска в *км*³; $W_{\text{п}}$ — потери воды в низовьях рек в *км*³.

*Таблица 1*

**Средние многолетние значения элементов водного баланса Аральского моря по данным различных авторов ($км^3$)**

| Автор | Год опубликования результата | Ряд лет, использованный при расчетах | Площадь моря, принятая при расчете, $км^2$ | Приход | | | Расход | | | Баланс, $км^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | осадки на море, $P$ | сумма стока рек, $F$ | $\Sigma$ $км^3$ | испарение, $E$ | фильтрация, $F$ | $\Sigma$ $км^3$ | |
| Дорант Ф. Б. | 1878 | 1874—1876 | 67950 | 5,8 | 67,0 | 72,8 | 77,7 | — | 77,7 | +4,9 |
| Берг Л. С. | 1908 | 1885—1905 | а) 64490 | 7,1 | 80,4 | 87,5 | 95,5 | — | 95,5 | —8,0 |
| | | | б) 63270 | 7,0 | 80,4 | 87,4 | 94,0 | — | 94,0 | —6,6 |
| Цинзерлинг В. В. | 1927 | 1880—1915 | 63788 | 7,1 | 57,9 | 65,0 | 64,9 | — | 64,9 | +0,1 |
| Зайков Б. Д. | 1946 | 1912—1917<br>1926—1939 | 68700 | 5,6 | 57,6 | 63,2 | 63,2 | — | 63,2 | 0,0 |
| Зайков Б. Д. | 1952 | 1925—1950 | а) 63450 | 6,0 | 54,8 | 60,9 | 62,0 | — | 62,0 | —1,1 |
| | | | б) 62180 | 5,9 | 54,8 | 60,8 | 60,8 | — | 60,8 | 0,0 |
| Холевицкая Г. С. | 1953 | 1941—1951 | 62663 | 5,6 | 54,1 | 59,7 | 54,3 | — | 54,3 | +5,4 |
| Холевицкая Г. С. (с поправками В. С. Самойленко) | 1955 | 1941—1951 | 62200 | 5,0 | 53,7 | 58,7 | 54,0 | — | 54,0 | +4,7 |
| Самойленко В. С. (I вариант) | 1955 | 1930 (?)—53 | 63000 | 5,4 | 54,0 | 59,4 | 58,1 | 1,3 | 59,4 | 0,0 |
| Самойленко В. С. (II вариант) | 1955 | 1930 (?)—53 | 67000 | 5,7 | 54,0 | 59,7 | 58,4 | 1,3 | 59,7 | 0,0 |
| Самойленко В. С. (III вариант) | 1955 | 1930 (?)—53 | 69600 | 5,9 | 54,0 | 59,9 | 58,6 | 1,4 | 60,0 | —0,1 |
| Среднее | | | | 6,1 | 60,2 | 66,3 | 66,8 | 1,3 | 67,1 | —0,8 |
| Максимальное | | | | 7,1 | 80,4 | 87,5 | 95,5 | 1,4 | 95,5 | +5,4 |
| Минимальное | | | | 5,0 | 53,7 | 58,7 | 54,0 | 1,3 | 54,0 | —8,0 |
| Разность (макс.—мин.) | | | | 2,1 | 26,7 | 28,8 | 41,5 | 0,1 | 41,5 | 12,7 |

Тогда уравнение водного баланса можно переписать в следующем виде:

$$W_{\text{пов. пр}} + W_{\text{позд. пр}} + W_{\text{ос}} - W_{\text{п}} - W_{\text{ис}} = \pm \Delta W. \qquad (3)$$

Ниже рассматриваются значения элементов водного баланса и приемы их определения за 58-летний период — с 1912 по 1969 г.

**Атмосферные осадки.** Определение количества осадков, выпадающих на поверхность моря в течение года, производилось за период с 1952 по 1969 г. по данным наблюдений в четырех пунктах: Уялы, Барсакельмес, Тигровый и Аральское море. Значение годовых осадков за 1912—1951 гг. восстановлено с помощью графика связи их средних величин в указанных пунктах и по станциям Аральское море и Казалинск, построенного по данным наблюдений за период 1952—1969 гг. Полученные средние значения осадков, выпадающих на поверхность Аральского моря, приведены в табл. 2. Исправленные значения осадков за 1952—1966 гг. при-

*Таблица 2*

**Атмосферные осадки на поверхность Аральского моря**

| Год | Осадки без учета поправки | Осадки с учетом поправки | Год | Осадки без учета поправки | Осадки с учетом поправки | Год | Осадки без учета поправки | Осадки с учетом поправки |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1912 | 104 | 160 | 1933 | 74 | 116 | 1954 | 104 | 160 |
| 1913 | 117 | 179 | 1934 | 109 | 167 | 1955 | 69 | 108 |
| 1914 | 125 | 191 | 1935 | 92 | 142 | 1956 | 110 | 169 |
| 1915 | 87 | 135 | 1936 | 92 | 142 | 1957 | 159 | 241 |
| 1916 | 71 | 111 | 1937 | 65 | 103 | 1958 | 155 | 235 |
| 1917 | 53 | 85 | 1938 | 88 | 136 | 1959 | 112 | 172 |
| 1918 | 65 | 102 | 1939 | 127 | 194 | 1960 | 102 | 156 |
| 1919 | 88 | 136 | 1940 | 132 | 201 | 1961 | 79 | 123 |
| 1920 | 124 | 189 | 1941 | 104 | 160 | 1962 | 107 | 164 |
| 1921 | 106 | 163 | 1942 | 95 | 147 | 1963 | 148 | 225 |
| 1922 | 83 | 129 | 1943 | 71 | 111 | 1964 | 123 | 188 |
| 1923 | 109 | 167 | 1944 | 47 | 76 | 1965 | 114 | 174 |
| 1924 | 99 | 152 | 1945 | 102 | 152 | 1966 | 95 | 147 |
| 1925 | 89 | 138 | 1946 | 95 | 147 | 1967 | 120 | 183 |
| 1926 | 74 | 116 | 1947 | 144 | 219 | 1968 | 99 | 152 |
| 1927 | 86 | 133 | 1948 | 106 | 163 | 1969 | 147 | 224 |
| 1928 | 71 | 111 | 1949 | 175 | 265 | | | |
| 1929 | 66 | 104 | 1950 | 83 | 129 | | | |
| 1930 | 55 | 87 | 1951 | 73 | 114 | | | |
| 1931 | 126 | 192 | 1952 | 96 | 148 | | | |
| 1932 | 68 | 107 | 1953 | 133 | 203 | | | |

няты по данным исследований ГОИНа [18]. Эти поправки на смачивание осадкомерного ведра и ветровой недоучет вводились к данным измеренных осадков в соответствии с рекомендациями ГГО. Исправленные значения осадков за 1912—1951 и за 1967—1969 гг. определялись с помощью графика связи фактических и исправленных значений осадков, построенного по данным за период с 1952 по 1966 гг. Эта связь является достаточно определенной

(рис. 1) и позволяет получить исправленные значения осадков с достаточной точностью. В результате произведенных расчетов среднее значение осадков за период 1912—1969 гг. (с учетом поправок) определено в 154 *мм*.

**Поверхностный приток.** Определение поверхностного притока в море производилось по данным наблюдений за стоком Амударьи у кишлака Чатлы и Сырдарьи у г. Казалинска с учетом потерь. Сток в указанных пунктах за периоды 1912—1925 гг. и 1952—1969 гг. принимался по сведениям, приведенным в гидрологических ежегодниках. В отдельных случаях недостающие сведения о величинах месячного стока восстанавливались и корректировались путем сопоставления сведений, опубликованных в отдельных работах [5, 18 и др]. Данные по стоку в указанных пунктах за 1926—1951 гг. приняты после анализа и обработки Гидропроекта им. С. Я. Жука [18]. Среднегодовые расходы рек Амударьи и

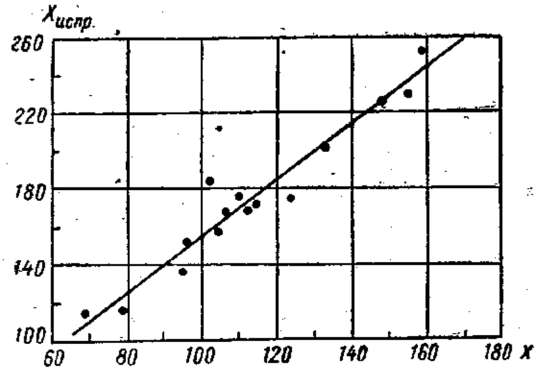



Рис. 1. Связь среднегодовых осадков по станциям Узлы, Барсакельмес, Тигровый и Аральское море с поправками на их недоучет и без поправок

Сырдарьи в указанных пунктах, а также их суммарный сток приведены в табл. 3. В результате выполненных расчетов получены следующие величины стока рек ($м^3/сек$) за отдельные периоды:

| | 1912—1960 | 1961—1969 | 1912—1969 |
|---|---|---|---|
| р. Амударья—кишлак Чатлы . . | 1487 | 1148 | 1434 |
| р. Сырдарья—г. Казалинск . . | 494 | 316 | 466 |
| Итого . . . | 1981 | 1464 | 1900 |

Сведения о величинах потерь стока в дельте Амударьи имеются за 1955—1965 гг. Эти значения потерь получены путем сопоставления величин стока Амударьи в створах Чатлы и Темирбай (замыкающий створ). Сведения о величине потерь за указанный период приведены в табл. 4. Для определения потерь ($W_п$) в дельте Амударьи построен график зависимости $W_п$ от величины стока реки в створе Чатлы (рис. 2). Точки на графике рис. 2 расположились двумя группами: одна группа (1959—1965 гг.) характеризу-

ет период с пониженным значением потерь, другая (1955—1958 гг.) относится к периоду с повышенными значениями потерь в дельте.

Динамика потерь $W_п$ в многолетнем разрезе, как известно, обусловливается стадийным развитием русловых процессов в дельте [14, 15]. Наличие многолетней динамики потерь в дельте отмечается рядом исследователей [14, 15, 18, 21]. В частности В. Л. Шульц [23] отмечает уменьшение потерь в дельте за последние годы.

В связи с изложенным и дифференциацией точек на графике рис. 2 возникла необ-

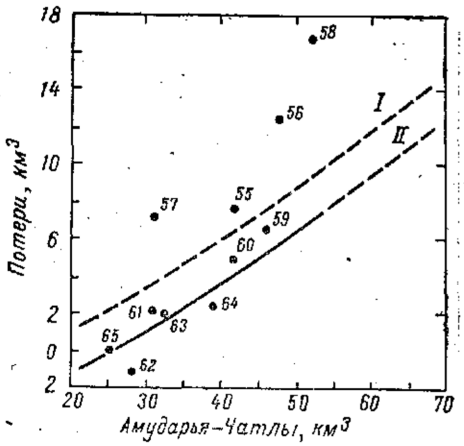



Рис. 2. Связь потерь стока в дельте Амударьи и ее стока у кишл. Чатлы за период 1955—65 гг.:
*I* — 1955—1958 гг., *II* — 1959—1965 гг.

*Таблица 3*

**Среднегодовые расходы воды ($м^3/сек$) рек Сырдарьи и Амударьи**

| Год | р. Сырдарья—г. Казалинск | р. Амударья—кишлак Чатлы | Суммарный сток | Год | р. Сырдарья—г. Казалинск | р. Амударья—кишлак Чатлы | Суммарный сток |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1912 | (551) | (1349) | (1900) | 1941 | (442) | 1630 | (2072) |
| 1913 | (545) | (1476) | (2021) | 1942 | 524 | 1690 | 2214 |
| 1914 | (539) | (1800) | (2339) | 1943 | (513) | 1600 | (2113) |
| 1915 | (528) | 1580 | (2108) | 1944 | (385) | 1580 | (1965) |
| 1916 | (385) | (1529) | (1914) | 1945 | (482) | 2040 | (2522) |
| 1917 | (288) | (829) | (1117) | 1946 | (493) | 1290 | (1783) |
| 1918 | (353) | (1345) | (1698) | 1947 | (340) | 1110 | (1450) |
| 1919 | (508) | (1445) | (1953) | 1948 | (424) | 1510 | (1934) |
| 1920 | (465) | (1140) | (1605) | 1949 | (512) | 1810 | (2322) |
| 1921 | (841) | (1730) | (2571) | 1950 | 378 | (1340) | (1718) |
| 1922 | (667) | (1593) | (2260) | 1951 | (419) | 1070 | (1489) |
| 1923 | (520) | (1590) | (2110) | 1952 | 595 | 1750 | 2345 |
| 1924 | (635) | (1745) | (2380) | 1953 | 620 | 1740 | 2360 |
| 1925 | (519) | (1627) | (2146) | 1954 | 670 | 1750 | 2420 |
| 1926 | (436) | 1280 | (1716) | 1955 | 530 | 1330 | 1860 |
| 1927 | (338) | 1190 | (1528) | 1956 | 520 | 1520 | 2040 |
| 1928 | (545) | 1680 | (2225) | 1957 | (300) | 980 | 1280 |
| 1929 | (550) | 1450 | 2000 | 1958 | 568 | 1660 | 2228 |
| 1930 | (530) | 1420 | 1950 | 1959 | 580 | 1470 | 2050 |
| 1931 | (599) | 1640 | 2239 | 1960 | 666 | 1330 | 1996 |
| 1932 | (470) | 1560 | 2030 | 1961 | (334) | 989 | 1323 |
| 1933 | (370) | (1523) | (1893) | 1962 | 184 | 901 | 1085 |
| 1934 | (493) | (2080) | (2573) | 1963 | 335 | 1010 | 1345 |
| 1935 | (451) | 1515 | (1966) | 1964 | 473 | 1240 | 1713 |
| 1936 | (518) | 1540 | (2058) | 1965 | 149 | 806 | 955 |
| 1937 | 476 | 1360 | 1836 | 1966 | 304 | 1130 | 1434 |
| 1938 | (366) | 1275 | (1641) | 1967 | 277 | 930 | 1207 |
| 1939 | (363) | 1210 | (1573) | 1968 | 231 | 1090 | 1321 |
| 1940 | (373) | 1160 | (1533) | 1969 | 555 | 2240 | 2795 |

*Таблица* 4

**Сведения о велечинах потерь в дельте Амударьи**

| Год . . . . | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Потеря, *км*³: | 7,5 | 12,5 | 7,2 | 16,8 | 6,60 | 4,84 | 2,18 | —1,02 | 1,77 | 2,41 | 0,13 |

ходимость выделить две зависимости: одну для определения потерь в дельте до 1958 г. включительно (I), другую (II) — для определения их величин с 1959 г. Проведение зависимости (II) для определения потерь за последние десятилетия не вызывает особых затруднений. При проведении зависимости (I) можно допустить существенную погрешность вследствие малой точности определения потерь в дельте путем сопоставления стока в створах Чатлы и Темирбай за четыре года наблюдений. Особенно велика ошибка определения потерь указанным способом в многоводные годы.

Имеющиеся в литературе сведения о повышенной величине потерь в 1912—1954 гг. дают основание оценить положение зависимости I путем сопоставления их значений за 1959—1969 и 1912—1958 гг. Это сопоставление проведено путем контрольных определений уровня за период 1912—1969 гг. с помощью уравнения водного баланса по методике, изложенной в другой работе авторов (см. настоящий сборник). Данные этих определений показали, что хорошее совпадение наблюденных и рассчитанных уровней за 1959—1969 гг. наблюдается при величине суммарных потерь, равной 935 *мм*, а за 1912—1958 гг. — при значении, равном 970 *мм* (рис. 3).

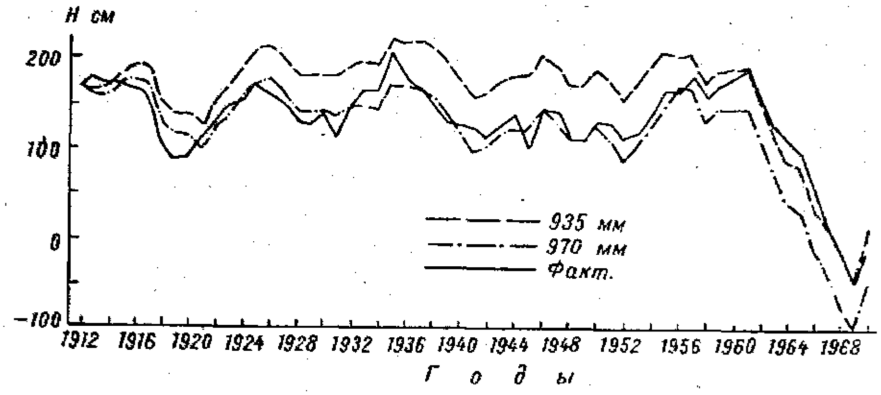



Рис. 3. Сопоставление фактических и рассчитанных уровней Аральского моря при величине суммарных потерь 935 и 970 *мм*

Таким образом, средняя величина потерь за период 1912—1958 гг. выше, чем за период 1959—1969 гг. на 35 *мм* или на 2,33 *км*³ в год. Полученное значение было использовано для приближенного установления положения зависимости I на рис. 2. Она была проведена параллельно зависимости II с превышением потерь на 2,33 *км*³ в год. При этом отдельные точки оказались

расположенными значительно выше указанной зависимости. Это, по-видимому, обусловлено завышением потерь в многоводные годы при определении их путем сопоставления стока Амударьи в створах Чатлы и Темирбай. График рис. 2 использован для приближенного определения годовых значений потерь за 1912—1969 гг. Средняя величина потерь стока в дельте Амударьи за весь расчетный период (1912—1969 гг.) оказались равной 7,0 *км*³. За 1912—1960 и 1959—1969 гг. средние величины потерь в дельте соответственно составили 7,8 *км*³ и 3,2 *км*³.

В работе М. М. Рогова произведена оценка потерь в дельте Амударьи на испарение с тростниковых зарослей. Эти потери в среднем составляют около 5,65 *км*³ в год. Исследования Е. Н. Минаевой [11] также показывают, что средняя величина потерь с тростниковых зарослей составляет несколько более 3 *км*³ в год. Эти цифры, по-видимому, несколько занижены. Кроме этого, чтобы получить величину суммарных потерь в дельте, необходимо к указанным выше значениям прибавить потери на фильтрацию в более глубокие горизонты. Определить эту величину в настоящее время не представляется возможным. Поэтому указанный путь определения потерь в дельте также не может привести к достаточно точным результатам.

В заключение следует отметить, что полученная с помощью графика (рис. 2) средняя величина потерь в дельте Амударьи в общем хорошо согласуется с результатами исследований Б. Д. Зайкова [5] и В. Л. Шульца [21] и, по-видимому, может быть использована при расчете водного баланса.

Потери в устьевой части Сырдарьи в соответствии с исследованиями Зайкова [5] и ГОИНа [18] приняты равными нулю, так как они находятся в пределах точности определения стока реки у г. Казалинска и величины потерь в дельте Амударьи. Таким образом, в результате выполненных расчетов получена величина притока в Аральское море, которая в среднем равна: за 1912—1960 гг. — 50,4 *км*³ и за 1961—1969 гг. — 43,6 *км*³.

**Изменения уровня моря.** Достоверные сведения об уровнях Аральского моря за довольно длительный период имеются только по водпосту Аральское море (с 1911 г.). С 1941 г. наблюдения за уровнем производятся уже на шести водомерных постах. По исследованиям Шульца [23] среднегодовые уровни, вычисленные по данным водпоста Аральское море, являются репрезентативными для всей акватории. Они могут отличаться от средних уровней, вычисленных по шести постам, не более чем на ±3 *см*. Несколько большие различия наблюдаются между уровнями на начало года, определенные как средние значения среднемесячных уровней декабря предшествующего и января последующего года. По исследованиям того же автора [23] уровни, вычисленные на начало года по водпосту Аральское море, могут отличаться от аналогичных уровней, определенных как среднее по шести водпостам до ±6 *см*, причем в 9 случаях из 11 ошибка не превышает ±3 *см*. Это дает основание использовать наблюдения на водпосту Араль-

ское море для определения приращения объема моря за период 1912—1969 гг.

Следует отметить, что представление о колебаниях уровня моря в XIX веке и начале XX можно получить из работ Л. С. Берга [2], Л. К. Давыдова [4] и других источников. В табл. 5 приведены

*Таблица 5*

**Среднегодовые уровни Аральского моря. Отметка «О» графика 51,494 *м* абс.**

| Год | Уровни, *см* | Год | Уровни, *см* | Год | Уровни, *см* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1780 | ( 142) | 1922 | (139) | 1950 | 144 |
| 1793 | (— 18) | 1923 | (158) | 1951 | 126 |
| 1800 | ( 00) | 1924 | 165 | 1952 | 126 |
| 1820 | (—128) | 1925 | 177 | 1953 | 145 |
| 1824 | (—143) | 1926 | 164 | 1954 | 168 |
| 1843 | ( 62) | 1927 | 149 | 1955 | 174 |
| 1848 | (— 11) | 1928 | 144 | 1956 | 180 |
| 1857 | (— 66) | 1929 | 148 | 1957 | 175 |
| 1862 | (— 32) | 1930 | 134 | 1958 | 172 |
| 1874 | (— 57) | 1931 | 133 | 1959 | 185 |
| 1880 | (—128) | 1932 | (157) | 1960 | 193 |
| 1892 | (— 49) | 1933 | (196) | 1961 | 186 |
| 1901 | ( 64) | 1934 | (180) | 1962 | 155 |
| 1902 | ( 104) | 1935 | (210) | 1963 | 121 |
| 1903 | ( 147) | 1936 | 184 | 1964 | 112 |
| 1908 | ( 164) | 1937 | 169 | 1965 | 88 |
| 1911 | ( 185) | 1938 | 156 | 1966 | 43 |
| 1912 | ( 189) | 1939 | 146 | 1967 | 12 |
| 1913 | ( 178) | 1940 | 124 | 1968 | —20 |
| 1914 | ( 187) | 1941 | 126 | 1969 | —15 |
| 1915 | ( 190) | 1942 | 130 | | |
| 1916 | ( 170) | 1943 | 138 | | |
| 1917 | ( 153) | 1944 | 130 | | |
| 1918 | ( 122) | 1945 | 137 | | |
| 1919 | ( 107) | 1946 | 152 | | |
| 1920 | ( 117) | 1947 | 142 | | |
| 1921 | ( 119) | 1948 | 115 | | |
| | | 1949 | 127 | | |

Примечание. Уровни с 1780 по 1908, по М. М. Рогову, с 1911 по 1921 г.— данные по уровням Аральского моря у ст. Аральское море по Б. Д. Зайкову, с 1922 — по 1969 г. — из морского ежемесячника.

сведения об уровнях Аральского моря с 1780 по 1969 г. Как видно на рис. 4, колебания уровня моря имеют циклический характер. В его ходе проявляются как вековые, так и внутривековые колебания. Последние, как показано в ряде работ, в значительной мере обусловлены 11-летними колебаниями солнечной активности. С 1780 по 1910 г. характер изменений уровня схематичен вследствие эпизодического характера получения сведений и их недостаточной достоверности. Поэтому судить о характере вековых колебаний по сведениям об уровнях за этот период следует крайне осто-

рожно. Необходимо отметить, что детальное исследование колебаний уровня в отдельные годы и анализ их причин выполнены Львовым и опубликованы в ряде его работ [6—10].

**Приращение объема.** Изменение уровня моря или объема характеризует степень аккумуляции и сработки моря за данный отрезок времени. Ежегодные изменения уровня и объема получены за период 1912—1969 гг. За этот период непрерывные наблюдения имеются только по водпосту Аральское море. Уровни водпоста хорошо согласуются со средними уровнями, вычисленными по всем

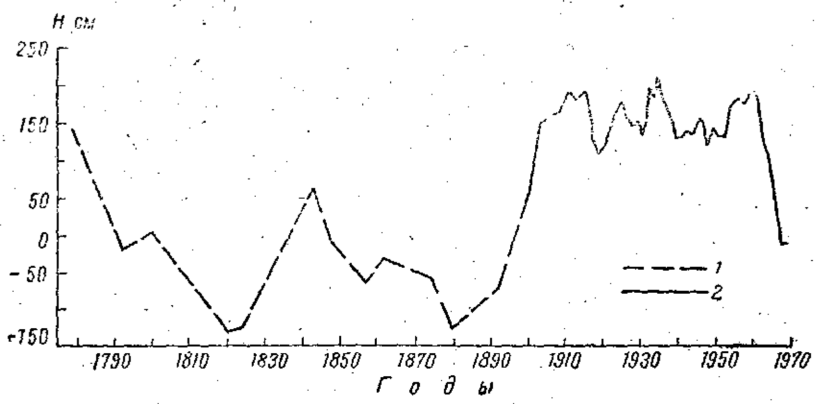



Рис. 4. Колебания уровня Аральского моря за период 1780—1969 гг.:
*1* — ориентировочные, *2* — наблюденные значения

постам моря. Для сравнения получаемых изменений уровня были использованы данные только по этому посту. Ежегодные изменения уровня определялись как разность их отметок в начале и конце года. Последние найдены как средние арифметические среднемесячных уровней за декабрь предшествующего и январь последующего года. В отдельных случаях производилось восстановление средних месячных уровней за отдельные годы. При определении площадей и объемов использовались современные морфометрические характеристики Аральского моря, полученные Р. В. Николаевой [12] путем анализа новейших картографических материалов. Морфометрические характеристики Аральского моря приведены в табл. 6.

**Испарение.** По данным ГОИНа величина среднегодового испарения с поверхности поря, определенная по формуле В. С. Самойленко [18], составляет 1115 *мм*. Исследования Казахского научно-исследовательского института энергетики (КазНИИЭ), проведенные под руководством А. П. Браславского, показывают, что эта величина может быть определена в 1100 *мм* в год. Учитывая, что погрешность определения испарения по существующим формулам составляет 5—7%, следует полагать, что величину испарения с поверхности моря следует принимать не ниже 1050 *мм*. Однако в связи с занижением величины подземного притока многие авторы

*Таблица 6*

**Площадь водной поверхности Аральского моря и объем его водных масс при различных высотных отметках уровня**

| Уровень | | Изобата, *м* | Площадь, *км²* | Объем водных масс, *км³* |
|---|---|---|---|---|
| *м*. абс. | над 0° | | | |
| 53,00 | 151 | 0 | 66085,6 | 1061,6 |
| 52,50 | 101 | 0,5 | 63800,0 | 1031,0 |
| 52,00 | 51 | 1,0 | 62000,0 | 1000,0 |
| 51,50 | 1 | 1,5 | 60700,0 | 969,0 |
| 51,00 | — 49 | 2,0 | 59609,7 | 936,0 |
| 50,50 | — 99 | 2,5 | 58800,0 | 907,0 |
| 50,00 | — 149 | 3,0 | 58100,0 | 878 0 |
| 49,50 | — 199 | 3,5 | 57400,0 | 850,0 |
| 49,00 | — 249 | 4,0 | 56700,0 | 821,0 |
| 48,50 | — 299 | 4,5 | 56000,0 | 792,0 |
| 48,00 | — 349 | 5,0 | 55348,1 | 763,6 |
| 47,50 | — 399 | 5,5 | 54400,0 | 735,0 |
| 47,00 | — 449 | 6,0 | 53800,0 | 710,0 |
| 46,50 | — 499 | 6,5 | 53000,0 | 683,0 |
| 46,00 | — 549 | 7,0 | 52100,0 | 657,0 |
| 45,50 | — 599 | 7,5 | 51300,0 | 632,0 |
| 45,00 | — 649 | 8,0 | 50400,0 | 607,0 |
| 44,50 | — 699 | 8,5 | 49500,0 | 580,0 |
| 44,00 | — 749 | 9,0 | 48600,0 | 555,0 |
| 43,50 | — 799 | 9,5 | 47600,0 | 530,0 |
| 43,00 | — 849 | 10,0 | 46648,5 | 508,7 |
| 42,50 | — 899 | 10,5 | 45485,2 | 491,4 |
| 42,00 | — 949 | 11,0 | 44321,9 | 474,0 |
| 41,50 | — 999 | 11,5 | 43158,7 | 456,7 |
| 41,00 | —1049 | 12,0 | 41995,4 | 439,3 |
| 40,50 | —1099 | 12,5 | 40832,2 | 422,0 |
| 40,00 | —1149 | 13,0 | 39668,9 | 404,7 |
| 39,50 | —1199 | 13,5 | 38505,6 | 387,3 |
| 39,00 | —1249 | 14,0 | 37342,3 | 370,0 |
| 38,50 | —1299 | 14,5 | 36179,1 | 352,6 |
| 38,00 | —1349 | 15,0 | 35015,8 | 335,3 |
| 37,50 | —1399 | 15,5 | 33852,5 | 318,0 |
| 37,00 | —1449 | 16,0 | 32689,3 | 300,6 |
| 36,50 | —1499 | 16,5 | 31526,0 | 283,3 |
| 36,00 | —1549 | 17,0 | 30362,7 | 266,0 |
| 35,50 | —1599 | 17,5 | 29199,4 | 248,6 |
| 35,00 | —1649 | 18,0 | 28036,2 | 231,3 |
| 34,50 | —1699 | 18,5 | 26872,9 | 213,9 |
| 34,00 | —1749 | 19,0 | 25709,6 | 196,6 |
| 33,50 | —1799 | 19,5 | 24546,4 | 179,2 |
| 33,00 | —1849 | 20,0 | 23383,1 | 161,9 |

при увязке водного баланса принимали испарение также несколько заниженным.

Следует отметить, что величины испарения и подземного притока характеризуются небольшой и, по-видимому, примерно одинаковой изменчивостью. Поэтому, сбалансированное занижение величин этих элементов, вероятно, не может привести к существенному нарушению динамики водного баланса.

**Подземный приток.** Приток подземных вод в море является одной из наиболее сложных и малоизученных элементов водного баланса. В большинстве водных балансов, составленных разными авторами, этот элемент принимается равным нулю. Только в балансе Гидропроекта им. С. Я. Жука (1962 г.) на основании предварительных расчетов он принят равным 1 $км^3$. Исследования У. Х. Ахмедсафина [1] показывают, что впадина Аральского моря является местом разгрузки мощных артезианских бассейнов с областями питания в горных образованиях, окаймляющих Приаралье. Таким образом, оценка подземного притока продолжает оставаться актуальной и в настоящее время. Предварительные балансовые расчеты, выполненные в КазНИГМИ, указывают, что величина подземного притока может быть оценена в 3—4 $км^3$ в год. Эта величина подтверждается материалами гидрогеологических наблюдений и исследований. Так, в работе И. М. Черненко [20] подземный приток в Аральское море оценивается в 3,4 $км^3$ в год. По нашему мнению, эта величина является вполне реальной. Таким образом, величина, подземного притока при составлении водного баланса может быть принята на основании исследований И. М. Черненко, равной 3,4 $км^3$ в год.

**Водный баланс в современных условиях.** Рассчитанные величины отдельных составляющих водного баланса позволяют определить соответствие приходных и расходных значений его элементов за отдельные периоды. В табл. 7 приведена сводка величин составляющих водного баланса за 1912—1960 гг.

*Таблица 7*

**Водный баланс Аральского моря за период 1912—1960 гг.**

($F = 66\,194$ $км^2$)

| Приход | *мм* | $км^3$ | Расход | *мм* | $км^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Поверхностный приток . . | 943 | 62,4 | Испарение . . . . . | 1050 | 69,5 |
| Подземный приток . . . . | 52 | 3,4 | Потери в дельте . . . . | 121 | 8,0 |
| Атмосферные осадки . . | 150 | 10,0 | Приращение объема . . . | 3 | 0,2 |
| Итого . . . . . | 1145 | 75,8 | | 1174 | 77,7 |
| Невязка баланса . . . . | | | | —29 | —1,9 |

Водный баланс этого периода характеризует фазу современного повышенного стояния уровня моря ($H_{ср} = 154$ *см*) и является практически равновесным. Невязка баланса, равная —29 *мм* или 1,9 $км^3$, по-видимому, в основном обусловлена некоторым занижением величин подземного притока и осадков, выпадающих на зеркало водоема. Воднобалансовые расчеты, выполненные в КазНИГМИ, показывают, что принятая величина подземного притока (3,4 $км^3$ в год) является все же заниженной на 1—1,5 $км^3$ в год. Величина осадков, по-видимому, также занижена примерно на 0,5—1,0 $км^3$ в год.

*Таблица 8*

**Водный баланс Аральского моря за период 1959—1969 гг.**

($F = 64\,267$ *км*²)

| Приход | *мм* | *км*³ | Расход | *мм* | *км*³ |
|---|---|---|---|---|---|
| Поверхностный приток . . | 769 | 49,4 | Испарение . . . . . | 1050 | 67,5 |
| Подземный приток . . . | 53 | 3,4 | Потери в дельте . . . . | 51 | 3,3 |
| Атмосферные осадки . . | 173 | 11,1 | Приращение объема . . . | —157 | —10,1 |
| Итого . . . . . | 995 | 63,9 | | 944 | 60,7 |
| Невязка баланса . . . . | | | | 51 | 3,2 |

Для сопоставления в табл. 8 приведены приходные и расходные составляющие водного баланса за 1959—1969 гг., т. е. за период устойчивого понижения уровня Аральского моря. В этом балансе невязка уже положительна и в среднем равна 51 *мм* или 3,2 *км*³ в год.

В этом случае невязка, видимо, обусловлена повышенной величиной испарения за 1959—1969 гг. по сравнению с его средней многолетней величиной, использованной при составлении водного баланса за указанный период. Приведенные в табл. 7, 8 водные балансы за 1912—1960 и 1959—1969 гг. отражают черты современного гидрометеорологического режима бассейна Аральского моря и могут быть использованы при разработке водохозяйственных мероприятий.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Ахмедсафин У. М. Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. АН КазССР, Алма-Ата, 1961.
2. Берг Л. С. Аральское море. Известия ТОРГО, ТУ, СПб., 1908.
3. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Гидрометеоиздат, Л., 1967.
4. Давыдов Л. К. Колебания водоносности рек Средней Азии. Труды ГМ отдела Среднеаз. метеорологического ин-та, вып. 2, 1929.
5. Зайков Е. Д. Водный баланс и уровень Аральского моря в связи со строительством главного Туркестанского канала. Труды ГГИ, вып. 16, 1952.
6. Львов В. П. Колебания уровня Аральского моря за последние сто лет. Труды ГОИН, вып. 46, 1959.
7. Львов В. П. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
8. Львов В. П. Статистическая характеристика многолетнего ряда годовых уровней Аральского моря (по наблюдениям гидрометеостанций Аральское море с 1911 по 1964 гг.). Океанология, т. VI, вып. 4. М., 1966.
9. Львов В. П. Некоторые особенности межгодовых изменений уровня Аральского моря (эвстатические денавеляционные приращения уровня моря). Метеорология и гидрология, № 11, 1968.
10. Львов В. П. Сезонная изменчивость уровня Аральского моря. Труды ГОИН, вып. 98, 1969.
11. Минаева Е. Н. Испарение с тростниковых зарослей в дельте Амударьи. Проблема Аральского моря. АН СССР, институт географии. Наука. М., 1969.
12. Николаева Р. В. Основные морфометрические характеристики Аральского моря. АН СССР, Институт географии. Наука, М., 1969.

13. Павлов С. П. О водном балансе Аральского моря. Сб. «Рыбные запасы Аральского моря и пути их рационального использования». Наука УзССР, Ташкент, 1964.
14. Ротов М. М. Гидрология дельты Аму-Дарьи. Гидрометеоиздат, 1957.
15. Рогов М. М., Ходкин С. С., Ревина С. К. Гидрология устьевой области Амударьи. Труды ГОИН, вып. 94, 1968.
16. Самойленко В. С. Состояние вопроса о водном балансе и колебаниях уровня Аральского моря. Труды ГОИН, вып. 20, 1955.
17. Сванидзе Г. Г. Основные расчеты регулирования речного стока методом Монте-Карло. Мецинереба, Тбилиси, 1964.
18. Современный и будущий водный и солевой баланс и расчет возможных изменений гидрологического и гидрохимического режима Аральского моря в связи с водохозяйственными мероприятиями в бассейнах рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Научно-технический отчет (по итогам работ за 1967—1968 гг.).
19. Халевицкая Г. С. Многолетние наблюдения водного баланса Аральского моря. ОГМИ, М., 1953.
20. Черненко И. М. Приток подземных вод в Аральское море и его значение в решении проблемы Арала. Сб. «Проблемы освоения пустынь», № 4, Ашхабад, 1970.
21. Шульц В. Л. Водный баланс дельты Аму-Дарьи. АН УзССР, серия технических наук, № 6, 1952.
22. Шульц В. Л. и Шаталова Л. И. Водный баланс Аральского моря. Научные труды ТашГУ, вып. 268, 1964.
23. Шульц В. Л. и Шаталова Л. И. Уровень Аральского моря в 1961—1966 гг. Сб. «Проблема освоения пустынь», № 3, 1968.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# ПРЕДСТОЯЩИЕ ВЕКОВЫЕ И ВНУТРИВЕКОВЫЕ УСЛОВИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ, АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И УРОВНЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Методов для расчета непрерывного хода уровня солнечной активности пока не существует. Делаются лишь попытки прогнозировать время наступления и уровня фаз минимума и максимума 11-летних циклов. Что касается текущего и начала следующего векового цикла, то на него имеется несколько различных указаний.

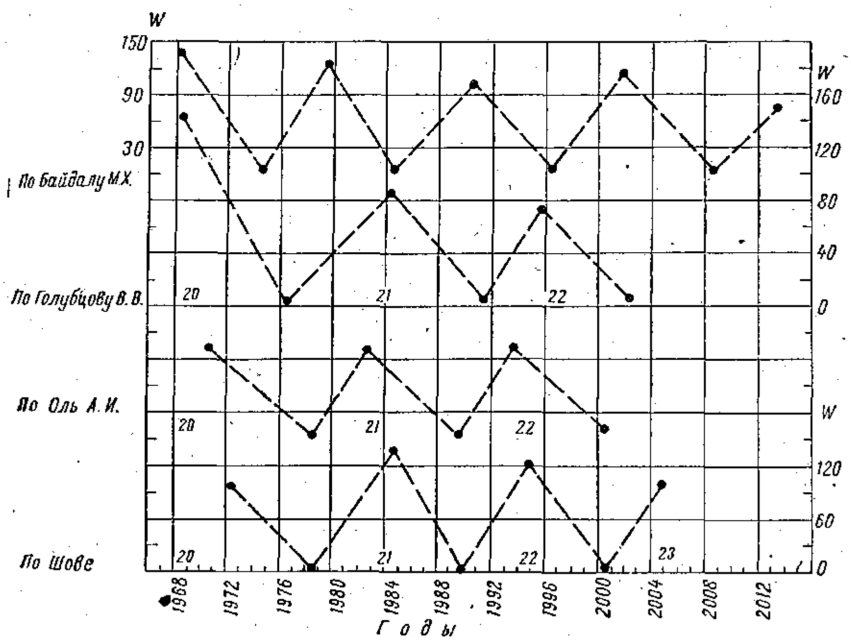



Рис. 1. Предстоящий ход уровня солнечной активности по данным разных авторов

Так, по Шове, А. М. Олю, А. Н. Афанасьеву и В. В. Голубцову он предполагается в 2000—2002 гг., по нашему расчету — около 2008, а по Вительсу — около 2006 и даже 2017 г.

В этих двух группах мнений содержатся разные продположения о числе 11-летних циклов до окончания текущего векового цикла. Первая группа авторов считает, что эти циклы будут растянутыми и их число будет равно трем. Промежуток времени от максимума 20-го цикла (1968) до максимума 21-го цикла у Шове и Голубцова предполагается равным 16 годам, у Оля — 12 годам. По нашему мнению, совпадающему с мнением Л. А. Вительса, до конца нынешнего векового цикла, кроме текущего 11-летнего, предполагается еще три цикла длительностью около 11 лет.

В отношении структуры сверхвековых циклов работ еще меньше, а выводы еще более противоречивы. Так, А. Н. Афанасьев и В. В. Голубцов считают, что текущий вековой цикл закончится около 2002 г., а следующий цикл будет очень низким и расположенным на фазе пониженных значений сверхвекового цикла солнечной активности (рис. 1).

В нашей работе [3] на основании осредненных значений максимумов 11-летних циклов по четыре построена кривая вековых изменений солнечной активности, согласно которой вековые циклы со второй половины 18-го столетия непрерывно возрастают по мощности и длине. На этом основании нами построен график, характеризующий дальнейший рост и удлинение вековых циклов на ветви подъема 1800-летнего цикла (рис. 2).

Учитывая данные Шове от 522 г. до нашей эры до середины XVII века (рис. 3) и структуру вековых циклов от середины XVII века до последних лет, можно говорить, что мы имеем дело с двумя ветвями (ветвь спада и начало ветви подъема) мегацикла продолжительностью около 4100 лет, если начало кривой по данным Шове на рис. 3, заимствованном из работы Голубцова [3], считать за начало ветви спада такого мегацикла.

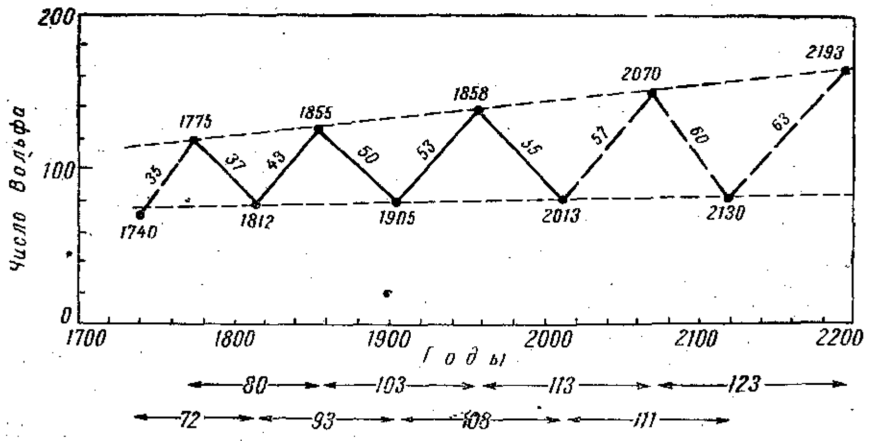



Рис. 2. Вековые изменения солнечной активности на ветви подъема мегацикла

На рис. 3 обращает на себя внимание также почти непрерывное уменьшение продолжительности двойных периодов внутри ме-

*Таблица 1*

**Границы и продолжительность сдвоенных периодов внутри мегацикла**

| № цикла | Начало | Окончание | Продолжительность (число лет) |
|---|---|---|---|
| 1 | 522 г. до н. э. | 200 г. | 722 |
| 2 | 200 | 820 | 620 |
| 3 | 820 | 1370 | 550 |
| 4 | 1370 | 1740 | 470 |
| 5 | 1740 | 1905 | 165 |
| 6 | 1905 | 2130 | 225 |

гацикла. Ориентировочные данные о границах и продолжительности приведены в табл. 1.

Следовательно, можно констатировать факт неустойчивости вековых, сдвоенных вековых и более крупных циклов. Очевидно, эта характеристика динамики солнечной активности является одной из важнейших, отражающих внутреннюю природу многомасштабных флуктуаций Солнца.

Было бы странно, если изменение общего уровня солнечной активности не отражалось на продолжительности ритмов и циклов отдельных ее характеристик. Стабильность, которую исследовате-

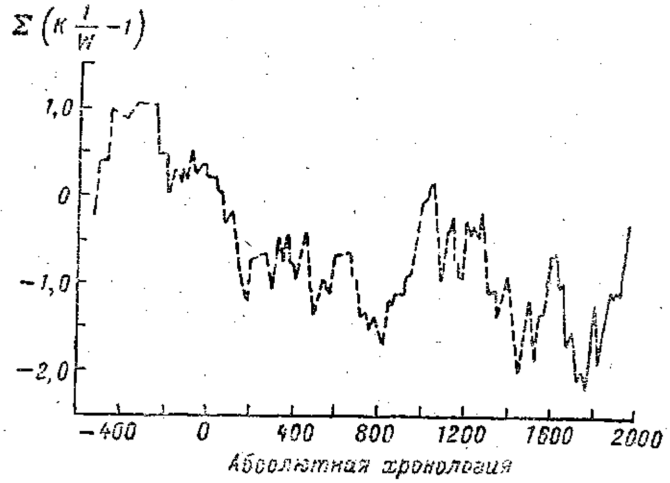



Рис. 3. Ход интегральной кривой $\Sigma\left(K\frac{1}{W}-1\right)$ чисел Вольфа по В. В. Голубцову, построенной по данным Шове

ли приписывают солнечной активности, видимо, меньше всего ей свойственна. Кстати сказать, понятие «цикличность» предусматривает повторение аналогичных фаз и состояний, но не включает в себя равенство их по продолжительности. Стремление упрощенно расматривать циклы с позиций их средней продолжительности не способствует открытию новых закономерностей в их природе.

Переходя к характеристике ожидаемых макроциркуляционных эпох следует прежде всего сказать, что их границы предполагаются в годы максимума 11-летних циклов солнечной активности [1, 2] и поэтому их осуществление следует ожидать с той же вероятностью, как и осуществление прогнозов 11-летних циклов.

До 2000 г. должны осуществиться три макроциркуляционных эпохи полностью и одна частично. Первая из этих эпох уже началась в 1969 г. с преобладающей *E* формой атмосферной циркуляции и ее окончание следует ожидать в 1979 г. Последующая циркуляционная эпоха продлится с 1980 по 1990 г. и будет характеризоваться преобладанием меридиональной формы циркуляции *C*. Наконец, третья эпоха ознаменуется опять преобладанием циркуляции типа *E*.

Как во второй, так и в третьей эпохах широтная форма циркуляции не будет господствующей, она постепенно будет учащаться и станет основной формой циркуляции в эпохе 2001—2013 гг., когда будет иметь место максимальное закручивание спирали траектории мгновенного полюса вращения Земли.

На рис. 1 статьи [4] приведена прогностическая линейка атмосферной циркуляции в рамках вековых циклов солнечной активности, из которой следует, что текущий вековой цикл, окончание которого ожидается около 2013 г., характеризуется преобладанием типа *E* циркуляции, что хорошо подтверждается фактическими данными с 1905 по 1970 г.

Рассматривая соотношения солнечной активности и преобладающих типов атмосферной циркуляции, мы выделяем четыре комплекса. Первый из них будет длиться до 1986 г. и характеризуется положительными знаками влияния этих двух факторов на осадки в бассейне Аральского моря.. Поэтому естественный уровень как Арала, так и других замкнутых водоемов этого региона должен оставаться относительно высоким.

Второй период сочетаний факторов продлится от 1987 до 2013 г. и в нем вклад типа циркуляции будет с положительным знаком (продолжение векового цикла с типом *E* циркуляции), а солнечной активности — с отрицательным знаком. Поэтому естественный уровень Арала в этот период должен был бы быть близким к нулю графика (51,494 *м*).

В третьем периоде с 2014 по 2043 г. будут сочетаться отрицательные знаки влияния на осадки атмосферной циркуляции и солнечной активности, которая еще будет находиться в фазе минимума. Вследствие этого уровень резко понизится и при условии естественного состояния опустится до 140 *см*. Это будет первый период сочетания циркуляции типа *C* с вековым минимумом солнечной активности после периода 1882—1904 гг., также характеризовавшегося катастрофически низким уровнем Арала.

Наконец, четвертый период после 2043 г. (период максимума векового цикла и солнечной активности и преобладания циркуляции типа *C*) предполагается с сочетанием противоположных знаков вклада климатообразующих факторов в осадки, а значит и

с колебаниями уровня Аральского моря (в его естественном, не деформированном в прошлом изъятии вод виде) около нуля графика.

Понятно, что мы здесь указали лишь на возможные общие черты хода естественного уровня Аральского моря без учета влияния других факторов, роль которых сейчас учесть почти невозможно.

Разумеется, фактический уровень может зависеть не только от влияния дополнительных естественных факторов, но в значительной степени и от количества изъятия воды из Сырдарьи и Амударьи на орошение. Возможно, что в результате последнего (если до этого не будет переброски вод из сибирских рек) Аральское море как таковое и перестанет существовать в виде единого водного бассейна. Тем не менее приведенный моделированный ход естественного уровня Арала, даже если моря не станет, представляет определенный интерес, ибо он косвенно будет характеризовать ход степени увлажнения всего бассейна Аральского моря, что, конечно, полезно учесть для перспективного планирования водных ресурсов в целях орошения.

Естественно, что указанный предполагаемый вековой ход уровня Аральского моря (или косвенно степени увлажнения) является сугубо приближенным и потребует дальнейших подтверждений путем проведения исследований и поэтапного уточнения.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Эпохальные особенности атмосферной циркуляции и связанные с ними явления. Труды КазНИГМИ, вып. 10, 1959.
2. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Часть I и II. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
3. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
4. Байдал М. Х. Связь вековых колебаний уровня Аральского моря с соотношениями солнечной активности и макротипов атмосферной циркуляции (см. настоящий сборник).
5. Голубцов В. В. О реальности сверхвековых циклов солнечной активности. Солнечные данные, № 6. Наука, М.—Л., 1965.

*В. В. ГОЛУБЦОВ, О. А. МОРОЗОВА*

# ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Расчет вековых и многолетних колебаний уровней Аральского моря на ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.) может быть выполнен на основе прогноза изменений стока в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи. Величина стока этих рек определяется увлажнением их бассейнов и интенсивностью таяния ледников и снежников. Наиболее благоприятные условия для формирования стока в бассейне Аральского моря складываются при повышенном количестве осадков в зимне-весенний период и повышенной температуре во вторую половину лета.

В связи с решением поставленной задачи возникает необходимость оценки направленности изменения водоносности рек рассматриваемой территории. Для такой оценки могут быть использованы исследования, выполненные в КазНИГМИ [2, 4, 12, 14]. При проведении этих исследований установлено, что реки Средней Азии в периоды фаз вековых циклов солнечной активности, характеризующихся пониженными значениями чисел Вольфа, имеют повышенную водоносность. В периоды фаз вековых циклов, отличающихся повышенной солнечной активностью, сток рек уменьшается. Указанная закономерность обусловливается аномальным развитием определенных форм атмосферной циркуляции в периоды, характеризующиеся различным уровнем солнечной активности [4, 11]. В периоды повышенной солнечной активности получают аномальное развитие процессы меридиональных типов *Е* и *С*, а в периоды пониженной активности солнца значительное развитие получают широтные процессы типа *W* (по Г. Я. Вангенгейму).

Так в период 1891—1928 гг., характеризующийся пониженной солнечной активностью и увеличением повторяемости процессов типа *W*, водоносность рек Средней Азии была повышенной. В период 1929—1957 гг., характеризующийся повышенной солнечной активностью и значительной повторяемостью процессов типа *Е* и *С*, водоносность рек рассматриваемой территории была пониженной (рис. 1). Анализ материалов наблюдений показывает, что различие стока (в % нормы) за период пониженной солнечной активности предыдущего векового цикла (1891—1928 гг.) и период повышенной активности текущего векового цикла (1929—1957 гг.) составляет: р. Сырдарья — г. Беговат — 3,8%; р. Нарын — г. Уч-Курган —

13,5%; р. Чирчик — г. Ходжикент — 4,0%. Есть основание полагать, что на фазах текущего векового цикла (1929—2002 гг.) эти расхождения будут несколько больше. Для суммарного притока в Аральское море величину различия стока за периоды противоположных фаз вековых циклов солнечной активности можно оценить в 4—6% нормы.

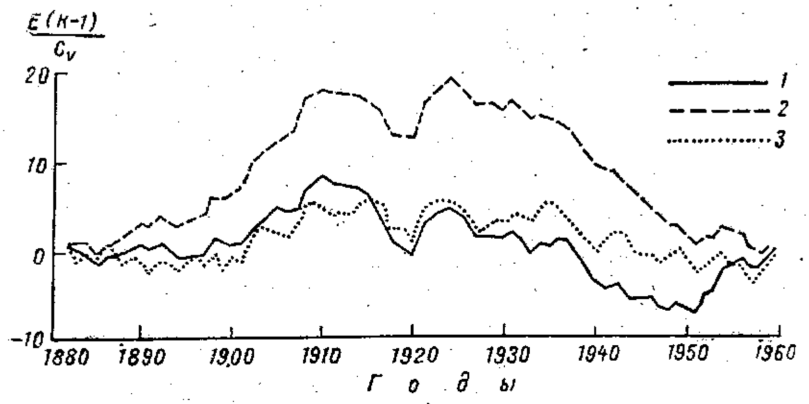



Рис. 1. Интегральные кривые $\frac{\Sigma(K-1)}{C_v}$ годового стока:

*1* — р. Сырдарья — г. Беговат, *2* — р. Нарын — с. Уч-Курган, *3* — р. Чирчик — с. Ходжикент

Таким образом, следует полагать, что приток в Аральское море за период 1971—2000 гг. будет примерно на 2—3% выше средних многолетних значений, вычисленных за период 1891—1957 гг. и на 4—6% выше значений среднего стока за период 1929—1957 гг. Этот вывод о противофазности вековых изменений солнечной активности и водоносности рек является достаточно обоснованным. Он хорошо согласуется с наличием противофазности колебаний солнечной активности и водности рек с периодом около 11 лет. Согласно исследованиям ряда авторов в периоды максимумов 11-летних циклов солнечной активности на реках Средней Азии, как правило, наблюдается пониженная водность. Фазы 11-летних минимумов солнечной активности обычно характеризуются наибольшим стоком.

По прогнозу ряда авторов [1, 5—8, 12, 19] в период 1971—2000 гг. солнечная активность будет относительно низкой. Это дает основание полагать, что величина среднего притока за этот период будет несколько выше нормы. Следует отметить, что в колебаниях стока рек бассейна Аральского моря многими исследователями подмечена квазипериодическая составляющая длительностью в среднем около 10—11 лет. При этом, периодам максимума 11-летних циклов солнечной активности соответствуют годы пониженной водности и наоборот, в периоды минимумов указанных циклов водность чаще всего бывает наибольшей. Проверка синхронности наступления указанных фаз колебаний солнечной

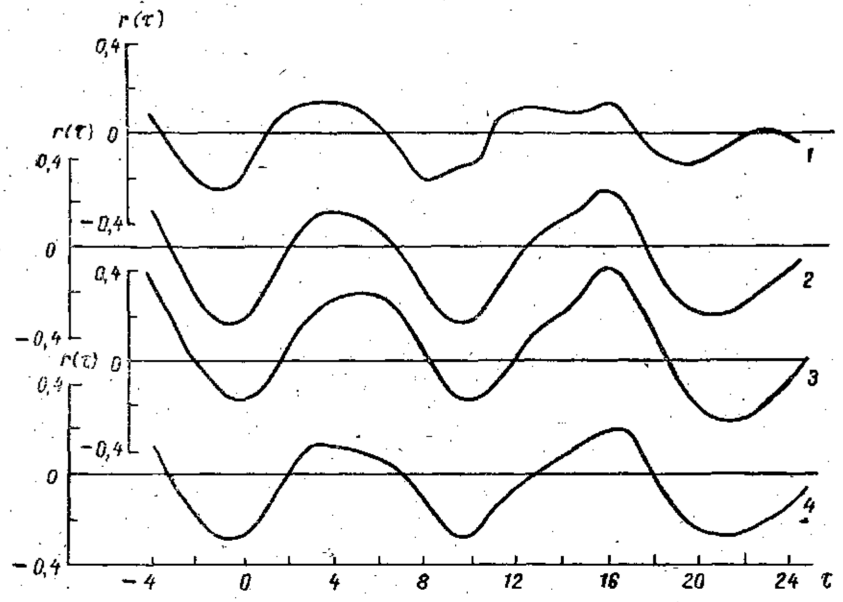



Рис. 2. Взаимно корреляционные функции солнечной активности (числа Вольфа) и стока:

р. Чирчик — с. Ходжикент (*1*), р. Нарын — с. Уч-Курган (*2*), р. Сырдарья — г. Беговат (*3*), р. Сырдарья — г. Казалинск (*4*)

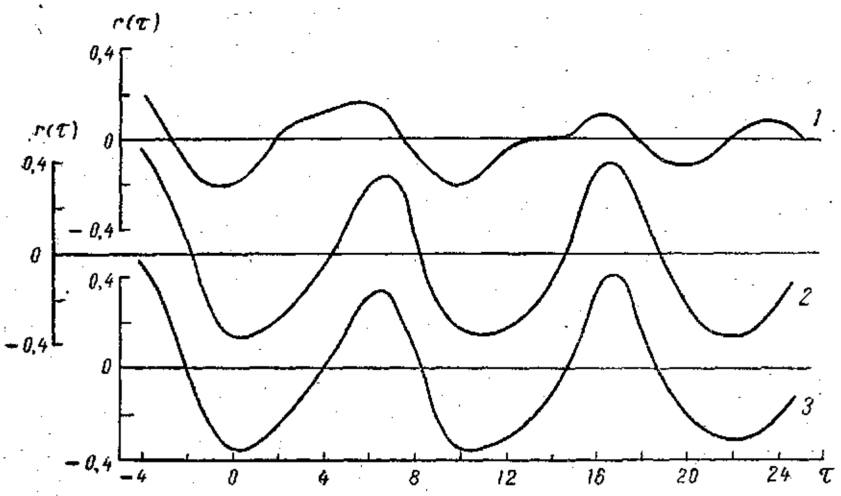



Рис. 3. Взаимно корреляционные функции солнечной активности (числа Вольфа) и стока:

р. Зеравшан — с. Дупули (*1*), р. Амударья — с. Чатлы (*2*), суммарный приток в Аральское море (*3*)

активности и стока рек была осуществлена путем анализа взаимно-корреляционных функций указанных характеристик. Взаимно-корреляционные функции, приведенные на рис. 2, 3, 4, построены для следующих характеристик: чисел Вольфа, суммарного притока в Аральское море и стока р. Амударьи у кишлака Чатлы, р. Сырдарьи у г. Казалинска, р. Сырдарьи у г. Беговат, р. Зеравшан у

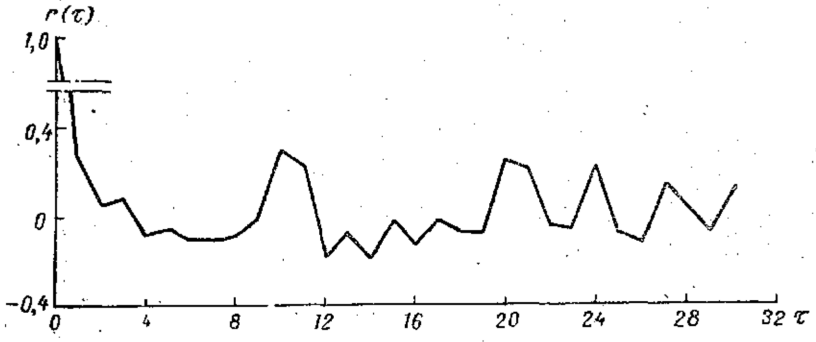



Рис. 4. Корреляционная функция суммарного притока в Аральское море

с. Дупули, р. Чирчик у с. Ходжикент, р. Нарын у с. Уч-Курган. Для расчета указанных функций использованы ряды наблюдений длительностью 50—70 лет. Расчеты производились на ЭЦВМ «Про-

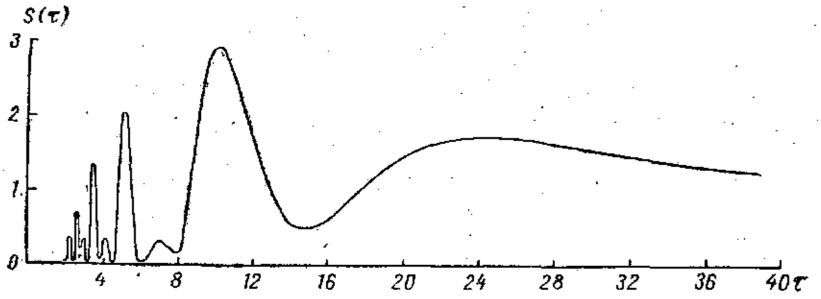



Рис. 5. Спектральная плотность суммарного притока в Аральское море

минь-2» по программе, составленной в отделе гидропрогнозов КазНИГМИ. На рис. 2, 3, 4 видно, что колебания указанных элементов в основном асинхронны. Запаздывание фаз изменений водности на один год по сравнению с фазами колебаний солнечной активности (числа Вольфа) наблюдается только в колебаниях стока некоторых рек бассейна р. Сырдарьи (р. Чирчик).

Цикличность стока рек рассматриваемой территории длительностью около 11 лет также хорошо проявляется в изменении корреляционной функции годового притока в море (рис. 4) и в графике ее спектрального представления (рис. 5). Указанная особенность колебаний притока в Аральское море может быть использована при разработке способа прогноза изменений его уровня на ближайшие десятилетия.

Рассмотрев общую тенденцию изменения водоносности рек Амударьи и Сырдарьи, перейдем к разработке способа составления прогноза возможных колебаний притока в Аральское море на 1971—2000 гг. Прогноз изменений притока в Аральское море может быть составлен на основе использования связи его величины с солнечной активностью (числа Вольфа). Эта связь для рек Средней Азии отмечается рядом исследователей [9, 15, 19 и др.]. Наиболее серьезные разработки этого вопроса применительно к колебаниям уровня Аральского моря выполнены в ГОИНе В. П. Львовым [16]. Определенные попытки установления связи уровня Аральского моря с солнечной активностью предприняты инженером В. А. Сысоевым [18].

По нашему мнению, основным недостатком этих исследований является использование связей уровней водоемов многолетнего наполнения и солнечной активности. Изменение уровня указанных водоемов является суммой его годовых приращений. Уровень каждого конкретного года отражает изменение его приращений в предшествующий период. Годовые значения чисел Вольфа характеризуют солнечную активность только рассматриваемого года. Поэтому сопоставление интегральной характеристики (ход уровня) с дифференциальной (числа Вольфа) представляется нам неправомерной. Такие связи могут быть устойчивыми только для отдельных фаз циклических колебаний уровня. С течением времени при изменении фаз этих колебаний такие связи обычно нарушаются [10].

Также недостаточно правомерным является и построение связей уровня водоемов и ординат интегральных кривых чисел Вольфа вследствие их несопоставимости, обусловленной различием морфометрических характеристик озера (в частности, его зеркала) при разных отметках водной поверхности. Эта несопоставимость определяется различной реакцией изменения уровня при одинаковой величине притока в водоем. При низких отметках водной поверхности, т. е. при небольшой площади зеркала водоема приток определенной величины может вызвать подъем уровня. При высоких отметках водной поверхности, т. е. при увеличении площади водного зеркала, приток той же величины может привести к менее интенсивному подъему уровня или только его стабилизации в пределах достигнутых отметок. Как известно, это обусловливается изменением соотношений элементов водного баланса при различных отметках уровня водоема.

В связи с изложенным, использование связей речного стока, характеризующего общую увлажненность рассматриваемой территории, и солнечной активности является, по нашему мнению, более перспективным. Наличие связи увлажнения определенного района и солнечной активности, по мнению М. Х. Байдала [3], обусловлено как непосредственным ее воздействием на атмосферные процессы рассматриваемой территории, так и посредством усиления и ослабления общей циркуляции атмосферы.

Для указанных целей была построена зависимость значений притока в Аральское море, осредненных по скользящим трехле-

тиям и годовых значений чисел Вольфа за период 1912—1960 гг. Приток в Аральское море был принят равным суммарному стоку р. Амударьи в створе Чатлы и р. Сырдарьи в створе у г. Казалинска. Эта связь, представленная на рис. 6, является довольно определенной и отражает уменьшение притока с увеличением годовых чисел Вольфа $W$ до 100—110. При дальнейшем увеличении $W$ величина притока снова несколько увеличивается. Такой характер зависимости, по-видимому, обусловлен увеличением непосредственного влияния солнечной активности на атмосферные процессы при повышении ее уровня [3].

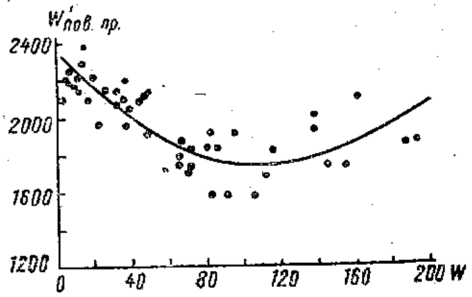



Рис. 6. Связь притока в Аральское море ($W'_{пов.пр}$), осредненного по скользящим трехлетиям, и годовых значений чисел Вольфа за период 1912—1960 гг.

Изменение фактических значений притока за 1912—60 гг. и величин, определенных с помощью указанной зависимости, показано на рис. 7. Соответствие рассчитанных и фактических значений притока характеризуется коэффициентом корреляции $r=0{,}824$. Хорошая согласованность рассчитанных значений притока и его величин, восстановленных по графикам связи, обнаруживается и в 1880—1911 гг. Это дает основание использовать зависимость рис. 7 для расчета изменения притока в 1971—2000 гг.

Следует отметить, что проверить соответствие естественных фактических и расчетных значений притока за период 1961—1970 гг. не представляется возможным в связи с увеличением безвозвратных потерь при заполнении водохранилищ, бессточных понижений (урочище Арнасай), орошения и др. Сопоставление интегральных кривых годовых осадков ряда метеорологических станций и годового стока рек Амударьи и Сырдарьи показывает, что значительное уменьшение стока этих рек в 1961—1968 гг. не было обусловлено каким-то значительным уменьшением увлажнения рассматриваемой территории.

По-видимому, оно в значительной степени обусловлено истощением запасов влаги вечных снегов и ледников вследствие их интенсивного стаивания в предшествующие десятилетия и хозяйственной деятельностью человека. Следует отметить, что в этот период возможно нарушение соответствия естественного фактического и рассчитанного притока в связи с тем, что на период 1960—1970 гг. приходится фаза максимума векового цикла (начало периода), а также фаза сверхвекового цикла солнечной активности [13, 19]. Это, по-видимому, привело к некоторому нарушению зависимости рис. 6 и уменьшению естественного притока в этот период. Анализ имеющихся материалов и сведений, приведенных в работах ряда авторов дает основание полагать, что в бли-

жайшие десятилетия уровень солнечной активности будет относительно низким и, следовательно, установленное соответствие между изменениями суммарного притока и чисел Вольфа не будет существенно нарушаться.

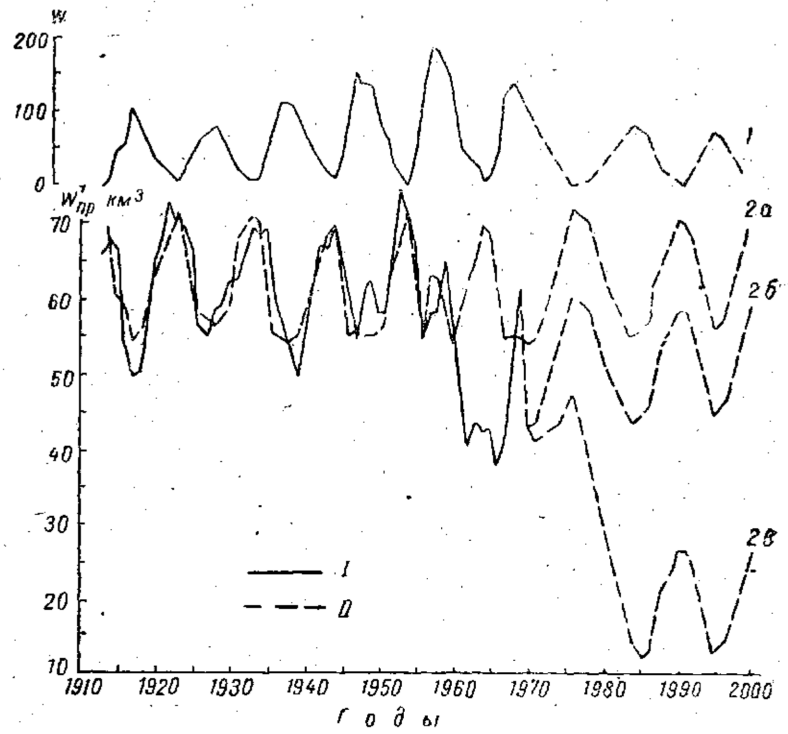



Рис. 7. График колебаний солнечной активности и притока в Аральское море ($км^3$):

*1* — среднегодовые числа Вольфа, *2а* — рассчитанные значения притока в Аральское море без учета изъятия стока в бассейне, при условии изъятия стока в бассейне (*2б*) в размере 11,4 $км^3$ (уровень 1970 г.) и при осуществлении изъятия стока в соответствии с вариантом III (средние значения); *I* — фактические, *II* — рассчитанные

Для прогнозирования естественного притока в Аральское море с помощью зависимости рис. 6 необходимо располагать сведениями об изменении солнечной активности (числа Вольфа) за период 1971—2000 гг. Сводка опубликованных прогнозов эпох экстремумов и максимальных значений чисел Вольфа $W_м$ для 21-го, 22-го, 23-го 11-летних циклов приведена в табл. 1. В результате проведенного анализа для окончательных расчетов были приняты значения, указанные в последней строке табл. 1. В частности, эпохи экстремумов 11-летних циклов № 21 и 22 были приняты по А. Д. Бонову [8],максимальное значение числа Вольфа $W_м$ для 21-го цикла по А. Я. Безруковой [5]. Для 22-го цикла указанное значение получено путем умножения $W_м$ 21-го цикла (по Безруко-

*Таблица 1*

**Прогнозы солнечной активности на период спада текущего векового цикла**

| Автор | Номера циклов | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 21 | | | 22 | | | 23 | | |
| | эпоха минимума (начало) | эпоха максимума | $W_м$ | эпоха минимума (начало) | эпоха максимума | $W_м$ | эпоха минимума (начало) | эпоха максимума | $W_м$ |
| Шове (1955) . . . . . | 1978,5 | 1984,5 | | 1989,5 | 1994,5 | | 2000,5 | 2004,5 | |
| Оль А. Й. (1961) . . . . . | 1978,1 | 1982,6 | | 1989,2 | 1993,8 | | 2000,3 | | |
| Витинский Ю. И. (1961) . . | 1976,0 | 1979,4 | 126 | | | | | | |
| Безрукова А. Я. (1962) . . | | 1982,0 | 85 | | 1994,0 | | | | |
| Афанасьев А. Н. (1967) . . | 1976,5 | 1984,1 | 52 | 1990,6 | 1996,6 | 47 | | | |
| Бонов А. Д. (1968) . . . . | | | 41 | | | 39 | 2002,0 | | |
| Значения, принятые для расчета . . . . . | 1976,5 | 1984,1 | 85 | 1990,6 | 1996,6 | 76,0 | 2002,0 | | |

*Таблица 2*

**Фактические и прогнозируемые значения чисел Вольфа и величина притока ($км^3$) в Аральское море за 1912—2000 гг.**

| Год | Числа Вольфа | Фактический приток | Приток по скользящим 3-летиям | Рассчитанный приток | Год | Числа Вольфа | Фактический приток | Приток по скользящим 3-летиям | Рассчитанный приток |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1912 | 4 | 59,9 | | 72,0 | 1957 | 190 | 40,4 | 58,3 | 63,8 |
| 1913 | 1 | 63,7 | 65,8 | 72,9 | 1958 | 185 | 70,2 | 58,4 | 62,1 |
| 1914 | 10 | 73,7 | 67,9 | 70,1 | 1959 | 159 | 64,6 | 65,9 | 58,7 |
| 1915 | 47 | 66,4 | 66,8 | 60,9 | 1960 | 119 | 62,9 | 56,4 | 54,3 |
| 1916 | 57 | 60,3 | 54,0 | 58,9 | 1961 | 54 | 41,7 | 46,3 | 59,5 |
| 1917 | 104 | 35,2 | 49,7 | 54,3 | 1962 | 38 | 34,2 | 39,4 | 62,8 |
| 1918 | 81 | 53,5 | 50,1 | 55,5 | 1963 | 28 | 42,4 | 43,5 | 65,3 |
| 1919 | 64 | 61,5 | 55,2 | 57,8 | 1964 | 10 | 54,0 | 42,2 | 70,1 |
| 1920 | 38 | 50,5 | 64,3 | 62,8 | 1965 | 15 | 30,1 | 43,1 | 68,8 |
| 1921 | 26 | 81,0 | 67,6 | 65,6 | 1966 | 47 | 45,2 | 37,8 | 60,9 |
| 1922 | 14 | 71,2 | 75,7 | 69,0 | 1967 | 133 | 38,1 | 41,6 | 55,5 |
| 1923 | 6 | 75,0 | 73,7 | 71,3 | 1968 | 143 | 41,6 | 55,9 | 56,5 |
| 1924 | 17 | 75,0 | 72,5 | 68,2 | 1969 | (129) | 88,1 | 62,2 | 55,4 |
| 1925 | 44 | 67,5 | 65,6 | 61,5 | 1970 | (106) | 56,8 | | 54,3 |
| 1926 | 64 | 54,3 | 56,6 | 57,8 | 1971 | (89) | | | 54,9 |
| 1927 | 69 | 48,2 | 55,0 | 57,0 | 1972 | (61) | | | 58,2 |
| 1928 | 78 | 62,7 | 58,0 | 55,9 | 1973 | (47) | | | 60,9 |
| 1929 | 65 | 63,0 | 62,4 | 57,8 | 1974 | (34) | | | 63,8 |
| 1930 | 36 | 61,4 | 65,0 | 59,0 | 1975 | (15) | | | 68,6 |
| 1931 | 21 | 70,6 | 65,3 | 67,2 | 1976 | ( 3) | | | 72,3 |
| 1932 | 11 | 64,0 | 64,8 | 69,7 | 1977 | ( 7) | | | 71,0 |
| 1933 | 6 | 59,7 | 68,3 | 71,3 | 1978 | (10) | | | 70,2 |
| 1934 | 9 | 81,3 | 67,6 | 70,4 | 1979 | (23) | | | 66,6 |
| 1935 | 36 | 61,9 | 69,3 | 63,1 | 1980 | (36) | | | 63,1 |
| 1936 | 80 | 64,8 | 61,5 | 55,5 | 1981 | (46) | | | 60,9 |
| 1937 | 114 | 57,9 | 58,1 | 54,3 | 1982 | (57) | | | 58,9 |
| 1938 | 110 | 51,7 | 53,0 | 54,3 | 1983 | (71) | | | 56,6 |
| 1939 | 89 | 49,5 | 49,8 | 54,9 | 1984 | (85) | | | 55,2 |
| 1940 | 68 | 48,3 | 54,3 | 57,1 | 1985 | (78) | | | 55,9 |
| 1941 | 48 | 65,3 | 61,1 | 60,6 | 1986 | (69) | | | 57,0 |
| 1942 | 31 | 69,7 | 67,2 | 64,4 | 1987 | (38) | | | 62,6 |
| 1943 | 16 | 66,6 | 66,1 | 68,5 | 1988 | (26) | | | 65,8 |
| 1944 | 10 | 61,9 | 69 3 | 70,2 | 1989 | (20) | | | 67,4 |
| 1945 | 33 | 79,4 | 65,8 | 63,9 | 1990 | (10) | | | 70,2 |
| 1946 | 93 | 56,1 | 60,4 | 54,8 | 1991 | ( 3) | | | 70,3 |
| 1947 | 152 | 45,7 | 54,3 | 57,7 | 1992 | (17) | | | 68,2 |
| 1948 | 136 | 61,0 | 59,9 | 55,8 | 1933 | (37) | | | 63,0 |
| 1949 | 135 | 73,1 | 62,7 | 55,7 | 1994 | (56) | | | 59,0 |
| 1950 | 84 | 54,1 | 58,0 | 55,4 | 1995 | (76) | | | 56,2 |
| 1951 | 69 | 46,9 | 58,3 | 57,0 | 1996 | (66) | | | 57,4 |
| 1952 | 31 | 74,0 | 65,1 | 64,4 | 1997 | (51) | | | 60,0 |
| 1953 | 14 | 74,3 | 74,9 | 69,0 | 1998 | (33) | | | 64,1 |
| 1954 | 4 | 76,3 | 69,7 | 72,0 | 1999 | (19) | | | 67,5 |
| 1955 | 45 | 58,6 | 66,4 | 61,2 | 2000 | (10) | | | 70,2 |
| 1956 | 142 | 64,3 | 54,4 | 56,5 | | | | | |

вой) на отношение $W_м$ 22-го и 21-го циклов (по Бонову). В результате получено значение $W_м = 76$ для 22-го цикла.

Эпоха минимума (начало) 11-летнего цикла № 23 была приурочена в соответствии с проработками одного из авторов [12] и А. Н. Афанасьева [1] к 2002 г. Изменение значений чисел Вольфа на ветви спада 20-го цикла приняты по данным прогноза П. Р. Романчука [17], а для 21-го цикла — в соответствии с исследованиями Безруковой [5]. Для расчета изменения чисел Вольфа в 22-м цикле использовались характеристики их распределения, приведенные в работах Безруковой [5—7].

Значения годовых чисел Вольфа за период 1971—2000 гг., полученные путем использования указанных выше прогнозов и исследований, приведены в табл. 2. Эти годовые числа Вольфа использованы для определения значений притока за 1971—2000 гг. с помощью графика рис. 6. Рассчитанные величины притока приведены в графе 5 табл. 2 и на рис. 7. На этом же рисунке показаны колебания прогнозируемых значений чисел Вольфа. Результаты расчета колебаний притока в Аральском море хорошо согласуются с выводами Байдала (см. статьи в настоящем сборнике) о характере изменений увлажненности рассматриваемой территории в ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.).

Для расчета колебаний уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.) необходимы сведения о притоке рек Амударьи и Сырдарьи с учетом безвозвратных потерь стока в их бассейнах. Институтом Средазгипроводхлопок для указанного периода рассчитан приток воды в Аральское море на ближайшие

*Таблица 3*

**Среднемноголетние расчетные варианты сбросов воды ($км^3$) в Аральское море рек Амударьи и Сырдарьи при определенных условных уровнях развития орошения (по данным института Средазгипроводхлопок)**

**Среднемноголетний приток 52 $км^3$**

| | Вариант | Условные расчетные уровни | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 2000 |
| р. Амударья — кишлак Чатлы | Макс. | 47,4 | 38,0 | 29,0 | 20,0 | 14,0 | 14,0 |
| | Сред. | 41,4 | 32,0 | 23,0 | 14,0 | 5,0 | 5,0 |
| | Мин. | 35,4 | 26,0 | 17,0 | 8,0 | 0,5 | 0,5 |
| р. Сырдарья — г. Казалинск | Макс. | 13,6 | 11,6 | 9,6 | 7,6 | 6,5 | 6,5 |
| | Сред. | 10,6 | 8,6 | 6,6 | 4,6 | 3,5 | 3,5 |
| | Мин. | 7,6 | 5,6 | 3,6 | 1,6 | 0,5 | 0,5 |
| Всего по Аральскому морю | Макс. | 61,0 | 49,6 | 38,6 | 27,6 | 20,5 | 20,5 |
| | Сред. | 52,0 | 40,6 | 29,6 | 18,6 | 8,5 | 8,5 |
| | Мин. | 43,0 | 31,6 | 20,6 | 9,6 | 1,0 | 1,0 |

Примечание. 1. В суммарное поступление воды в Аральское море после осуществления первой очереди переброски части стока сибирских рек включены возможные сбросы и возвратные воды: макс. — 30 $км^3$, сред. — 15 $км^3$, мин. — 0 $км^3$. 2. Время осуществления 1-й очереди переброски принято вариантно с 1985, 1990, 1995 и 2000 гг.

десятилетия, приуроченный к определенным условным уровням развития орошения в пределах рассматриваемой территории (табл. 3). При выполнении этих расчетов средний многолетний приток в море принят равным 52 *км*³ в год. Приток рассчитан для максимального, среднего и минимального уровней развития орошения в бассейне. В табл. 3 также приведены возможные минимальные, средние, максимальные величины сбросов воды в Аральское море при осуществлении первой очереди переброски стока сибирских рек. Влияние указанных сбросов на изменение уровня моря предполагается рассмотреть при осуществлении переброски в 1985, 1990 и 1995 гг.

При расчете влияния указанных вариантов изменения притока в Аральское море на ход его уровня нами использовались значения безвозвратных потерь в бассейне, определенные как разность возможного притока в море и его среднего многолетнего значения, равного 52 *км*³ в год. Эти сведения приведены в табл. 4.

*Таблица 4*

**Среднемноголетние значения забора воды (*км*³) в бассейне Аральского моря при определенных условиях уровня развития орошения**

| Вариант | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|
| Минимальный . . . . . | 2,4 | 13,4 | 24,4 | 31,5 | 31,5 |
| Средний . . . . . | 11,4 | 22,4 | 33,4 | 43,5 | 43,5 |
| Максимальный . . . . . | 20,4 | 31,4 | 42,4 | 51,0 | 51,0 |

Кроме этого, для расчета уровня моря использовались сведения о величине возможных сбросов и объеме возвратных вод при условии переброски стока сибирских рек в 1985, 1990, 1995 гг. (см. примечание к табл. 3). Значение возможного притока в Аральское море за 1971—2000 гг. в естественных условиях и для различных вариантов изъятия стока в бассейне, объеме сбросов и возвратных вод приведены в табл. 5.

В графе 2 табл. 5 помещены объемы притока в море без учета безвозвратных потерь в бассейне (вариант I).

В следующей графе — объемы возможного притока при условии, если безвозвратные потери в ближайшие десятилетия (до 2000 г.) останутся в среднем на уровне 1970 г., т. е. в размере 11,4 *км*³ в год (вариант II).

В графах 4, 5, 6 приведены объемы возможного притока в море при максимальном, среднем и минимальном изъятии воды в бассейне в соответствии с данными, приведенными в табл. 4 (вариант III). Сведения, приведенные в этих графах, характеризуют возможные изменения притока в море при осуществлении переброски стока сибирских рек не ранее 2000 г.

В графах 7, 8, 9 помещены, для того же варианта, значения возможного притока в море при условии дополнительных сбросов

**Значения притока ($км^3$) в Аральское море при различной величине безвозвратных**

| | Вари | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | IV | | | V | | |
| | | | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1970 | 54,3 | 42,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 |
| 1971 | 54,9 | 43,5 | 50,3 | 41,3 | 32,3 | 50,3 | 41,3 | 32,3 | 50,3 | 41,3 | 32,3 |
| 1972 | 58,2 | 46,8 | 51,4 | 42,4 | 33,4 | 51,4 | 42,4 | 33,4 | 51,4 | 42,4 | 33,4 |
| 1973 | 60,9 | 49,5 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 |
| 1974 | 63,8 | 52,4 | 52,6 | 43,6 | 34,6 | 52,6 | 43,6 | 34,6 | 52,6 | 43,6 | 34,6 |
| 1975 | 68,6 | 57,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 |
| 1976 | 72,3 | 60,9 | 56,7 | 47,7 | 38,7 | 56,7 | 47,7 | 38,7 | 56,7 | 47,7 | 38,7 |
| 1977 | 71,0 | 59,6 | 53,2 | 44,2 | 35,2 | 53,2 | 44,2 | 35,2 | 53,2 | 44,2 | 35,2 |
| 1978 | 70,2 | 58,8 | 50,2 | 41,2 | 32,2 | 50,2 | 41,2 | 32,2 | 50,2 | 41,2 | 32,2 |
| 1979 | 66,6 | 55,2 | 44,4 | 35,4 | 26,4 | 44,4 | 35,4 | 26,4 | 44,4 | 35,4 | 26,4 |
| 1980 | 63,1 | 51,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 |
| 1981 | 60,9 | 49,5 | 35,1 | 25,5 | 16,8 | 35,1 | 25,5 | 16,8 | 35,1 | 25,5 | 16,8 |
| 1982 | 58,9 | 47,5 | 31,7 | 21,5 | 13,1 | 31,7 | 21,5 | 13,1 | 31,7 | 21,5 | 13,1 |
| 1983 | 56,6 | 45,2 | 28,0 | 17,2 | 9,0 | 28,0 | 17,2 | 9,0 | 28,0 | 17,2 | 9,0 |
| 1984 | 55,2 | 43,8 | 25,1 | 13,7 | 5,9 | 25,1 | 13,7 | 5,9 | 25,1 | 13,7 | 5,9 |
| 1985 | 55,9 | 44,5 | 24,4 | 12,4 | 4,9 | 39,4 | 27,4 | 19,9 | 24,4 | 12,4 | 4,9 |
| 1986 | 57,0 | 45,6 | 25,5 | 13,5 | 6,0 | 39,5 | 27,5 | 20,0 | 25,5 | 13,5 | 6,0 |
| 1987 | 62,6 | 51,2 | 31,1 | 19,1 | 11,6 | 44,1 | 32,1 | 24,6 | 31,1 | 19,1 | 11,6 |
| 1988 | 65,8 | 54,4 | 34,3 | 22,3 | 14,8 | 46,3 | 34,3 | 26,6 | 34,3 | 22,3 | 14,8 |
| 1989 | 67,4 | 56,0 | 35,9 | 23,9 | 16,4 | 46,9 | 34,9 | 27,4 | 35,9 | 23,9 | 16,4 |
| 1990 | 70,2 | 58,8 | 38,7 | 26,7 | 19,2 | 48,7 | 36,7 | 29,2 | 53,7 | 41,7 | 34,2 |
| 1991 | 70,3 | 58,9 | 38,8 | 26,8 | 19,3 | 47,8 | 35,8 | 28,3 | 52,3 | 40,3 | 32,8 |
| 1992 | 68,2 | 56,8 | 36,7 | 24,7 | 17,2 | 44,7 | 32,7 | 25,2 | 48,7 | 36,7 | 29,2 |
| 1993 | 63,0 | 51,6 | 31,5 | 19,5 | 12,0 | 38,5 | 26,5 | 19,0 | 42,0 | 30,0 | 22,5 |
| 1994 | 59,0 | 47,6 | 27,5 | 15,5 | 8,0 | 33,5 | 21,5 | 14,0 | 36,5 | 24,5 | 17,0 |
| 1995 | 56,2 | 44,8 | 24,7 | 12,7 | 5,2 | 29,7 | 17,7 | 10,2 | 32,2 | 20,2 | 12,7 |
| 1996 | 57,4 | 46,0 | 25,9 | 13,9 | 6,4 | 29,9 | 17,9 | 10,4 | 31,9 | 19,9 | 12,4 |
| 1997 | 60,0 | 48,6 | 28,5 | 16,5 | 9,0 | 31,5 | 19,5 | 12,0 | 33,0 | 21,0 | 13,5 |
| 1998 | 64,1 | 52,7 | 32,6 | 20,6 | 13,0 | 34,6 | 22,6 | 15,1 | 35,6 | 23,6 | 16,1 |
| 1999 | 67,5 | 56,1 | 36,0 | 24,0 | 16,5 | 37,0 | 25,0 | 17,5 | 37,5 | 25,5 | 18,0 |
| 2000 | 70,2 | 58,8 | 38,7 | 26,7 | 19,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 |

в объеме 15 $км^3$ в год, обусловленных осуществлением в 1985 г. первой очереди переброски стока сибирских рек (вариант IV).

В графах 10, 11, 12 — значения объема притока при условии осуществления первой очереди переброски стока сибирских рек в 1990 г. (вариант V).

В графах 13, 14 и 15 — значения объема притока при условии осуществления первой очереди переброски стока сибирских рек в 1995 г. (вариант VI).

В графах 16, 17 и 18 приведены значения возможного притока в море при условии дополнительных сбросов в объеме 30 $км^3$ в год, обусловленных осуществлением в 1985 г. первой очереди переброски стока сибирских рек (вариант VII).

В графах 19, 20 и 21 — значения объема притока при условии осуществления первой очереди переброски стока сибирских рек

*Таблица 5*

**потерь в бассейне и осуществлении первой очереди переброски сибирских рек**

анты

| VI | | | VII | | | VIII | | | IX | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 |
| 50,3 | 41,3 | 32,3 | 50,3 | 41,3 | 32,3 | 50,3 | 41,3 | 32,3 | 50,3 | 41,3 | 32,3 |
| 51,4 | 42,4 | 33,4 | 51,4 | 42,4 | 33,4 | 51,4 | 42,4 | 33,4 | 51,4 | 42,4 | 33,4 |
| 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 | 51,9 | 42,9 | 33,9 |
| 52,6 | 43,6 | 34,6 | 52,6 | 43,6 | 34,6 | 52,6 | 43,6 | 34,6 | 52,6 | 43,6 | 34,6 |
| 55,2 | 46,2 | 37,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 | 55,2 | 46,2 | 37,2 |
| 56,7 | 47,7 | 38,7 | 56,7 | 47,7 | 38,7 | 56,7 | 47,7 | 38,7 | 56,7 | 47,7 | 38,7 |
| 53,2 | 44,2 | 35,2 | 53,2 | 44,2 | 35,2 | 53,2 | 44,2 | 35,2 | 53,2 | 44,2 | 35,2 |
| 50,2 | 41,2 | 32,2 | 50,2 | 41,2 | 32,2 | 50,2 | 41,2 | 32,2 | 50,2 | 41,2 | 32,2 |
| 44,4 | 35,4 | 26,4 | 44,4 | 35,4 | 26,4 | 44,4 | 35,4 | 26,4 | 44,4 | 35,4 | 26,4 |
| 38,7 | 29,7 | 20,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 | 38,7 | 29,7 | 20,7 |
| 35,1 | 25,5 | 16,8 | 35,1 | 25,5 | 16,8 | 35,1 | 25,5 | 16,8 | 35,1 | 25,5 | 16,8 |
| 31,7 | 21,5 | 13,1 | 31,7 | 21,5 | 13,1 | 31,7 | 21,5 | 13,1 | 31,7 | 21,5 | 13,1 |
| 28,0 | 17,2 | 9,0 | 28,0 | 17,2 | 9,0 | 28,0 | 17,2 | 9,0 | 28,0 | 17,2 | 9,0 |
| 25,1 | 13,7 | 5,9 | 25,1 | 13,7 | 5,9 | 25,1 | 13,7 | 5,9 | 25,1 | 13,7 | 5,9 |
| 24,4 | 12,4 | 4,9 | 54,4 | 42,4 | 34,9 | 24,4 | 12,4 | 4,9 | 24,4 | 12,4 | 4,9 |
| 25,5 | 13,5 | 6,0 | 53,5 | 41,5 | 34,0 | 25,5 | 13,5 | 6,0 | 25,5 | 13,5 | 6,0 |
| 31,1 | 19,1 | 11,6 | 57,1 | 45,1 | 37,6 | 31,1 | 19,1 | 11,6 | 31,1 | 19,1 | 11,6 |
| 34,3 | 22,3 | 14,8 | 58,3 | 46,3 | 38,8 | 34,3 | 22,3 | 14,8 | 34,3 | 22,3 | 14,8 |
| 35,9 | 23,9 | 16,4 | 57,9 | 45,9 | 38,4 | 35,9 | 23,9 | 16,4 | 35,9 | 23,9 | 16,4 |
| 38,7 | 26,7 | 19,2 | 58,7 | 46,7 | 39,2 | 68,7 | 56,7 | 49,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 |
| 38,8 | 26,8 | 19,3 | 56,8 | 44,8 | 37,3 | 65,8 | 53,8 | 46,3 | 38,8 | 26,8 | 19,3 |
| 36,7 | 24,7 | 17,2 | 52,7 | 40,7 | 33,2 | 60,7 | 48,7 | 41,2 | 36,7 | 24,7 | 17,2 |
| 31,5 | 19,5 | 12,0 | 45,5 | 33,5 | 26,0 | 52,5 | 40,5 | 33,0 | 31,5 | 19,5 | 12,0 |
| 27,5 | 15,5 | 8,0 | 39,5 | 27,5 | 20,0 | 45,5 | 33,5 | 26,0 | 27,5 | 15,5 | 8,0 |
| 39,7 | 27,7 | 20,2 | 34,7 | 22,7 | 15,2 | 39,7 | 27,7 | 20,2 | 54,7 | 42,7 | 35,2 |
| 37,9 | 25,9 | 18,4 | 33,9 | 21,9 | 14,4 | 37,9 | 25,9 | 18,4 | 49,9 | 37,9 | 30,4 |
| 37,5 | 25,5 | 18,0 | 34,5 | 22,5 | 15,0 | 37,5 | 25,5 | 18,0 | 46,5 | 34,5 | 27,0 |
| 38,6 | 26,6 | 19,1 | 36,6 | 24,6 | 17,1 | 38,6 | 26,6 | 19,1 | 44,6 | 32,6 | 25,1 |
| 39,0 | 27,0 | 19,5 | 38,0 | 26,0 | 18,5 | 39,0 | 27,0 | 19,5 | 42,0 | 30,0 | 22,5 |
| 38,7 | 26,7 | 19,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 | 38,7 | 26,7 | 19,2 |

в 1990 г. (вариант VIII).

В графах 22, 23, 24 — значения объема притока при условии осуществления переброски стока первой очереди сибирских рек в 1995 г. (вариант IX).

На рис. 3 для наглядного представления о диапазоне возможных изменений притока в море показаны колебания притока, по сведениям, приведенным в табл. 5, без учета безвозвратных потерь в бассейне (данные графы 2), при условии, если эти потери в ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.) останутся на уровне 1970 г. (данные графы 3), и при условии развития орошения в бассейне (данные графы 5 — среднее значение).

Расчет колебаний уровня Аральского моря в ближайшие десятилетия для различных вариантов изменения притока может быть

осуществлен по упрощенному уравнению водного баланса

$$W'_{\text{пов. пр}} - (W'_{\text{ис}} + W_{\text{н}}) = \pm \Delta W, \qquad (1)$$

где $W'_{\text{пов.пр.}}$ — поверхностный приток, определяемый по стоку Амударьи у кишлака Чатлы и Сырдарьи у г. Казалинска в *км*$^3$; $W'_{\text{ис}}$ — «видимое» испарение, т. е. испарение минус осадки в *км*$^3$; $W_{\text{н}}$ — невязка баланса, *км*$^3$.

При таком способе расчета уровня предполагается, что потери в дельте определяются величиной притока (увеличиваются с увеличением притока), а разность подземного притока и потерь компенсируется введением величины $W_{\text{н}}$, характеризующей невязку упрощенного баланса. В связи с тем, что колебания подземного притока и потерь в дельтах рек не могут быть спрогнозированы с достаточной точностью, величина $(W'_{\text{ис}} + W_{\text{н}})$ при расчете уровня на ближайшие десятилетия (до 2000 г.) выбирается постоянной из условия наилучшего соответствия фактических и рассчитанных уровней за достаточно длительный период наблюдений. Средний поверхностный приток $W'_{\text{пов. пр}}$, рассчитанный за период 1912—1960 гг., составляет 62,4 *км*$^3$ или 943 *мм*. Величина $W'_{\text{ис}}$, определенная как разность испарения и осадков в уравнении водного баланса Аральского моря за тот же период, составляет 57,6 *км*$^3$ или 871 *мм*.

Таким образом, невязка упрощенного водного баланса моря $W_{\text{н}}$ составляет 4,8 *км*$^3$ или 72 *мм*. Оценка возможности использования полученного значения $W'_{\text{ис}} + W_{\text{н}} = 943$ *мм* для расчета колебаний уровня воды по известным значениям поверхностного притока $W'_{\text{пов. пр}}$ проводилась путем сопоставления рассчитанных и фактических значений уровня за периоды 1912—1970 и 1937—1970 гг. Эти сопоставления позволили уточнить величину $W_{\text{н}}$. Окончательно для расчета уровней моря на ближайшие десятилетия (до 2000 г.) принято $W_{\text{н}} = 69$ *мм* и $W'_{\text{ис}} + W_{\text{н}} = 940$ *мм*.

Следует отметить, что при расчете уровней возникает необходимость определения средней площади моря на каждый последующий год. Для определения этой площади с помощью метода последовательных приближений используется площадь, соответствующая уровню в начале года $H_1$ и приращение объема $\pm\Delta W$. В первом приближении в качестве средней принимается площадь $\omega_1$, соответствующая уровню $H_1$. Приращение уровня $\pm\Delta H$ определяется как частное от деления приращения объема $\pm\Delta W$ и $\omega$, затем вычисляется уровень $H_2 = H_1 \pm \Delta H$. В качестве второго приближения принимается площадь $\omega$, соответствующая уровню $\frac{H_1 + H_2}{2}$, и т. д. Вычисления прекращаются тогда, когда различие между предыдущим и последующим уточнением уровня окажется меньше определенного, наперед заданного числа. В связи с трудоемкостью указанных вычислений расчет уровней Аральского моря осуществлялся на ЭВМ «Промінь-2» по программе, составлен-

ной в КазНИГМИ. В результате расчета определялись уровни, приуроченные к началу года.

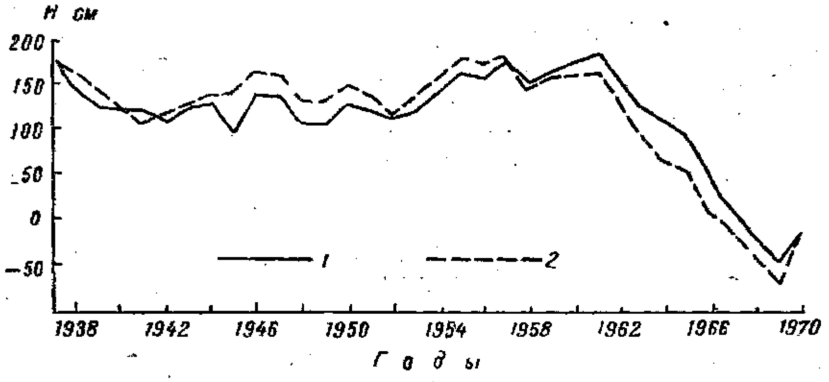



Рис. 8. Сопоставление уровней, рассчитанных (2) по упрощенному уравнению водного баланса, с их фактическими значениями (1) за период с 1937 по 1970 г.

Сравнение рассчитанных и фактических уровней за период 1937—1970 гг. (рис. 8) указывает на их хорошее соответствие. Это дает основание использовать упрощенное уравнение водного баланса для расчета уровней Аральского моря на ближайшие

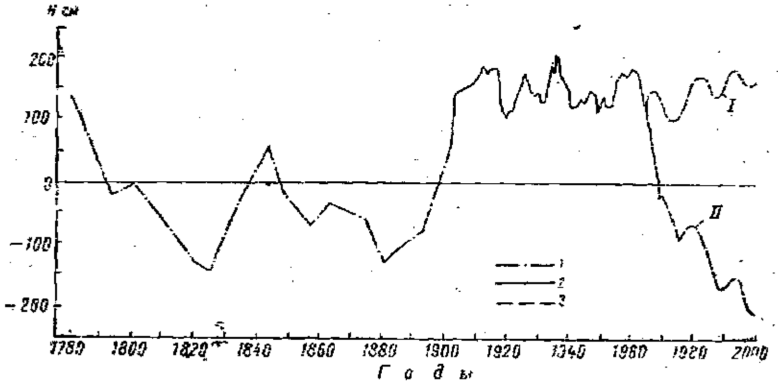



Рис. 9. График колебания уровня Аральского моря за период 1780—2000 гг.:

*1* — ориентировочные, *2* — наблюденные, *3* — прогнозируемые значения, рассчитанные в соответствии с I и II вариантом изъятия стока

десятилетия. Расчет (прогноз) колебаний уровней в 1971—2000 гг. был осуществлен для всех вариантов притока в Аральское море, обусловленных изменением климата и хозяйственной деятельностью человека (графы 2—24 табл. 6). Результаты расчета (прогноза) уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.) приведены в табл. 6 и на рис. 9, 10. На основании выполненных проработок можно сделать следующие выводы:

*Таблица 6*

## *Значения уровней (см) Аральского моря при различной величине безвозвратных потерь в бассейне и осуществлении первой очереди переброски сибирских рек*

**Отметка «0» графика 51, 494 *м* абс. БС**

| Год | Варианты | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | IV | | | V | | | |
| | | | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1971 | 108 | —33,2 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | |
| 1972 | 105 | —54,7 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | |
| 1973 | 106 | —70,1 | —38,1 | —80,9 | —125 | —38,1 | —80,9 | —125 | —38,1 | —80,9 | —125 | |
| 1974 | 112 | —86,6 | —45,7 | —102 | —160 | —45,7 | —102 | —160 | —45,7 | —102 | —160 | |
| 1975 | 124 | —86,6 | —51,8 | —122 | —194 | —51,8 | —122 | —194 | —51,8 | —122 | —194 | |
| 1976 | 141 | —83,3 | —53,6 | —136 | —223 | —53,6 | —136 | —223 | —53,6 | —136 | —223 | |
| 1977 | 156 | —74,4 | —52,7 | —148 | —249 | —52,7 | —148 | —249 | —52,7 | —148 | —249 | |
| 1978 | 168 | —68,1 | —57,7 | —178 | —281 | —57,7 | —178 | —281 | —57,7 | —178 | —281 | |
| 1979 | 175 | —62,3 | —67,4 | —212 | —317 | —67,4 | —212 | —317 | —67,4 | —212 | —317 | |
| 1980 | 176 | —64,6 | —86,5 | —254 | —364 | —86,5 | —254 | —364 | —86,5 | —254 | —364 | |
| 1981 | 174 | —71,7 | —115 | —303 | —419 | —115 | —303 | —419 | —115 | —303 | —419 | |
| 1982 | 169 | —82,2 | —148 | —359 | —482 | —148 | —359 | —482 | —148 | —359 | —482 | |
| 1983 | 161 | —95,7 | —188 | —412 | —551 | —188 | —412 | —551 | —188 | —412 | —551 | |
| 1984 | 151 | —115 | —232 | —487 | —628 | —232 | —487 | —628 | —232 | —487 | —628 | |
| 1985 | 142 | —132 | —282 | —560 | —710 | —282 | —560 | —710 | —282 | —560 | —710 | |
| 1986 | 130 | —149 | —333 | —634 | —794 | —306 | —600 | —763 | —333 | —634 | —794 | |
| 1987 | 138 | —164 | —382 | —706 | —875 | —329 | —640 | —816 | —382 | —706 | —875 | |
| 1988 | 145 | —170 | —417 | —768 | —944 | —343 | —671 | —858 | —417 | —768 | —944 | |
| 1989 | 154 | —169 | —447 | —824 | —1004 | —353 | —696 | —895 | —447 | —824 | —1004 | |
| 1990 | 166 | —166 | —474 | —877 | —1059 | —362 | —719 | —929 | —474 | —877 | —1059 | |
| 1991 | 170 | —158 | —495 | —912 | —1107 | —367 | —739 | —957 | —467 | —880 | —1071 | |
| 1992 | 187 | —150 | —515 | —946 | —1152 | —374 | —759 | —986 | —463 | —886 | —1096 | |
| 1993 | 189 | —146 | —539 | —984 | —1202 | —386 | —796 | —1022 | —465 | —900 | —1108 | |
| 1994 | 182 | —151 | —572 | —1032 | —1265 | —409 | —825 | —1079 | —480 | —928 | —1147 | |
| 1995 | 175 | —163 | —615 | —1090 | —1337 | —441 | —897 | —1131 | —505 | —967 | —1197 | |
| 1996 | 166 | —180 | —656 | —1152 | —1412 | —479 | —928 | —1191 | —538 | —1016 | —1258 | |
| 1997 | 163 | —194 | —700 | —1211 | —1480 | —517 | —982 | —1265 | —571 | —1061 | —1318 | |
| 1998 | 166 | —204 | —736 | —1261 | —1555 | —550 | —1031 | —1326 | —600 | —1104 | —1373 | |
| 1999 | 174 | —206 | —764 | —1299 | —1605 | —577 | —1071 | —1377 | —624 | —1140 | —1420 | |
| 2000 | 185 | —202 | —783 | —1326 | —1642 | —599 | —1104 | —1420 | —644 | —1170 | —1460 | |
| 2001 | 196 | —194 | —797 | —1345 | —1667 | —618 | —1321 | —1480 | —662 | —1195 | —1494 | |

*Продолжение табл. 6*

| Год | Варианты | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | VI | | | VII | | | VIII | | | IX | | |
| | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. | макс. | сред. | мин. |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1971 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | —18,5 | —33,1 | —47,8 | —18,5 | —33,1 | —47,8 |
| 1972 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | —29,4 | —58,3 | —87,5 | —29,4 | —58,3 | —87,5 |
| 1973 | —38,1 | —80,9 | —125 | —38,1 | —80,9 | —125 | —38,1 | —80,9 | —125 | —38,1 | —80,9 | —125 |
| 1974 | —45,7 | —102 | —160 | —45,7 | —102 | —160 | —45,7 | —102 | —160 | —45,7 | —102 | —160 |
| 1975 | —51,8 | —122 | —194 | —51,8 | —122 | —194 | —51,8 | —122 | —194 | —51,8 | —122 | —194 |
| 1976 | —53,6 | —136 | —223 | —53,6 | —136 | —223 | —53,6 | —136 | —223 | —53,6 | —136 | —223 |
| 1977 | —52,7 | —148 | —249 | —52,7 | —148 | —249 | —52,7 | —148 | —249 | —52,7 | —148 | —249 |
| 1978 | —57,7 | —178 | —281 | —57,7 | —178 | —281 | —57,7 | —178 | —281 | —57,7 | —178 | —281 |
| 1979 | —67,4 | —212 | —317 | —67,4 | —212 | —317 | —67,4 | —212 | —317 | —67,4 | —212 | —317 |
| 1980 | —86,5 | —254 | —364 | —86,5 | —254 | —364 | —86,5 | —254 | —364 | —86,5 | —254 | —364 |
| 1981 | —115 | —303 | —419 | —115 | —303 | —419 | —115 | —303 | —419 | —115 | —303 | —419 |
| 1982 | —148 | —359 | —482 | —148 | —359 | —482 | —148 | —359 | —482 | —148 | —359 | —482 |
| 1983 | —188 | —412 | —551 | —188 | —412 | —551 | —188 | —412 | —551 | —188 | —412 | —551 |
| 1984 | —232 | —487 | —628 | —232 | —487 | —628 | —232 | —487 | —628 | —232 | —487 | —628 |
| 1985 | —282 | —560 | —710 | —282 | —560 | —710 | —282 | —560 | —710 | —282 | —560 | —710 |
| 1986 | —333 | —634 | —794 | —280 | —572 | —733 | —333 | —634 | —794 | —333 | —634 | —794 |
| 1987 | —382 | —706 | —875 | —279 | —585 | —758 | —382 | —706 | —875 | —382 | —706 | —875 |
| 1988 | —417 | —763 | —944 | —271 | —591 | —774 | —417 | —768 | —944 | —417 | —768 | —944 |
| 1989 | —447 | —824 | —1004 | —282 | —595 | —788 | —447 | —824 | —1004 | —447 | —824 | —1004 |
| 1990 | —474 | —877 | —1059 | —250 | —599 | —802 | —474 | —877 | —1059 | —474 | —877 | —1059 |
| 1991 | —495 | —912 | —1107 | —246 | —601 | —814 | —439 | —849 | —1036 | —495 | —912 | —1107 |
| 1992 | —515 | —946 | —1152 | —237 | —608 | —830 | —411 | —829 | —1021 | —515 | —946 | —1152 |
| 1993 | —539 | —984 | —1202 | —239 | —623 | —854 | —393 | —819 | —1019 | —539 | —984 | —1202 |
| 1994 | —572 | —1033 | —1265 | —252 | —650 | —892 | —391 | —828 | —1035 | —572 | —1033 | —1265 |
| 1995 | —613 | —1090 | —1337 | —276 | —689 | —942 | —401 | —850 | —1068 | —613 | —1090 | —1337 |
| 1996 | —629 | —1116 | —1373 | —308 | —738 | —1001 | —422 | —888 | —1112 | —600 | —1080 | —1331 |
| 1997 | —648 | —1146 | —1413 | —341 | —786 | —1061 | —445 | —921 | —1160 | —596 | —1083 | —1340 |
| 1998 | —667 | —1175 | —1453 | —373 | —834 | —1118 | —469 | —958 | —1208 | —588 | —1093 | —1357 |
| 1999 | —684 | —1204 | —1488 | —399 | —916 | —1170 | —490 | —991 | —1252 | —606 | —1107 | —1378 |
| 2000 | —699 | —1224 | —1520 | —423 | —951 | —1216 | —510 | —1023 | —1293 | —618 | —1127 | —1406 |
| 2001 | —715 | —1247 | —1551 | —445 | —985 | —1259 | —531 | —1054 | —1334 | —636 | —1154 | —1443 |

1. При условии, если безвозвратные потери в бассейне Аральского моря в среднем останутся на уровне 1970 г., т. е. около 11,4 *км*³ в год (вариант II), его уровень будет снижаться. На общем фоне спада будут наблюдаться кратковременные периоды подъема или стабилизации уровней, длительностью около пяти лет. К 2000 г. уровень снизится примерно на 2 *м* по сравнению с его отметкой в 1970 г. (см. графу 5 табл. 6).

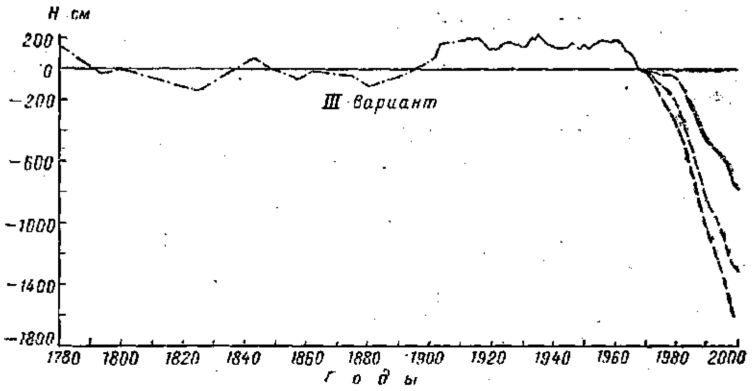



Рис. 10. График колебания уровня Аральского моря за период с 1971 по 2000 г.; показаны уровни, рассчитанные в соответствии с разновидностями (макс., средн., мин.) варианта III (графы 4, 5, 6, табл. 6)

2. При условии, если безвозвратные потери в бассейне будут определяться данными Средазгипроводхлопок (табл. 4) в соответствии с вариантом III, уровень Аральского моря будет снижаться более интенсивно. Периоды стабилизации уровня длительностью не более пяти — семи лет будут наблюдаться только в 70-х годах при минимальной величине забора воды. К 2000 г. уровень моря в зависимости от минимальной, средней и максимальной величины забора воды на орошение снизится примерно на 8—16 *м* по сравнению с отметкой 1970 г. (см. вариант III табл. 6 и рис. 6).

3. Возможный ход уровней моря при различных вариантах переброски стока сибирских рек занимает промежуточное положение между его изменениями при варианте II и III. При минимальных величинах забора воды и подаче начиная с 1986 г. стока сибирских рек в размере 30 *км*³ в год ход уровня Аральского моря приближается к его изменению при варианте II.

4. При намеченном изъятии стока рек Амударьи и Сырдарьи (табл. 4) площадь Аральского моря при изменениях его уровня в соответствии с разновидностями варианта III к 2000 г. уменьшится до 27 500 *км*² — 48 000 *км*², т. е. на 30—60% или в среднем в два раза по сравнению с площадью при уровне 53,00 *м* абс.

Объем Аральского моря в соответствии с проведением указанных мероприятий (вариант III) к 2000 г. уменьшится до 240—

540 $км^3$, т. е. примерно на 50—75% по сравнению с объемом при уровне 53,00 *м* абс.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Афанасьев А. Н. Колебание гидрометеорологического режима на территории СССР. Наука АН СССР, М., 1967.
2. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Гидрометеоиздат, ч. I—II, Л., 1964, ч. III, Л., 1965.
3. Байдал М. Х. О структуре влияния солнечной активности на атмосферные осадки. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
4. Байдал М. Х. Эпохальные особенности атмосферной циркуляции и связанные с ними явления. Труды КазНИГМИ, вып. 10, 1959.
5. Безрукова А. Я. Об эпохах максимумов 11-летних циклов № 20, 21, 22. Солнечные данные, № 8, 1962.
6. Безрукова А. Я. О возможном характере изменения среднегодовых чисел Вольфа в 11-летнем цикле № 21. Солнечные данные, № 7, 1962.
7. Безрукова А. Я. О возможном характере изменения среднегодовых чисел Вольфа в 11-летнем цикле № 20. Солнечные данные, № 5, 1962.
8. Бонов А. Д. Прогноз 11-летних циклов № 20, 21, 22 солнечной активности. Солнечные данные, № 10, 1968.
9. Бродовицкий К. В. и Предтеченский П. П. Основные положения методов долгосрочных предсказаний погоды, учитывающие солнечную активность. Труды ГГО, вып. 1, 1940.
10. Геллер С. Ю. Некоторые аспекты проблемы Аральского моря. Сб. «Проблема Аральского моря» Наука, 1969.
11. Гирс А. А. Многолетние преобразования форм атмосферной циркуляции и изменение солнечной активности. Метеорология и гидрология, № 10, 1956.
12. Голубцов В. В. К вопросу о проектной норме стока. Труды КазНИГМИ, вып. 21, 1964.
13. Голубцов В. В. О реальности сверхвековых циклов солнечной активности. Солнечные данные, № 6. Наука, М.—Л., 1965.
14. Голубцов В. В. О внутривековых колебаниях водоносности рек. Труды КазНИГМИ, вып. 26, 1967.
15. Жуков М. С. Расходы рек Средней Азии и солнечной активности. Труды ГМ отдела Среднеаз. метеорологический институт, т. 1, вып. 2, 1929.
16. Львов В. П. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
17. Романчук П. Р. Прогноз активности Солнца в эпоху максимума и на ветви спада 20-го цикла. Солнечные данные, № 9, 1968.
18. Шульц В. Л. и Шалатова Л. И. Водный баланс Аральского моря. Научные труды ТашГУ, вып. 268, 1964.
19. Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., 1963.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# РАСЧЕТ УРОВНЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА 5-6-ЛЕТНИЕ ПЕРИОДЫ С ПОМОЩЬЮ ГЕЛИОСИНОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Попытки расчета уровней замкнутых морей — Каспийского и Аральского — на более или менее длительные периоды осуществлялись многими авторами [1—10]. Однако эти расчеты имели весьма общий характер и базировались в основном на связи многолетних колебаний уровней только с солнечной активностью непосредственно или через атмосферную циркуляцию. Абсолютно прав С. Ю. Геллер [4], который отмечает, что в настоящее время отсутствует какой-либо объективный критерий для суждения о предстоящих изменениях уровня Аральского моря, обусловленных природными факторами.

Солнечно-уровенные связи не имеют достаточной для расчетов тесноты, а в некоторых частях длительного ряда лет они почти исчезают или даже меняют знак. Это, по нашему мнению, объясняется тем обстоятельством, что солнечно-уровенные связи (непосредственные или опосредствованные через атмосферную циркуляцию, осадки и сток рек) рассматриваются в понимании воздействия солнечной активности только через атмосферную циркуляцию, которая затем дальше определяет осадки и сток.

В этом кроется главный недостаток таких исследований и смысл его не столько в том, что до сего времени не выяснен физический механизм воздействия солнечной активности на атмосферную циркуляцию, а в том, что не учитывается прямое воздействие ее на метеорологические параметры атмосферы и прежде всего на разрешение влажнонеустойчивости.

Атмосферная среда находится под непрерывным, меняющимся в широких пределах по интенсивности влиянием космических факторов, от которых зависит количество, состав и активность ядер конденсации и сублимации. Поэтому количество осадков при однотипных синоптических процессах тесно связано с солнечной активностью и меняется в соответствии с ее колебаниями, увеличиваясь на максимуме и уменьшаясь на минимуме. Вследствие этого осадки необходимо анализировать в связи с различными сочетаниями уровня солнечной активности и типом атмосферной циркуляции. В данной статье рассматривается методика расчета 5-6-летних уровней с учетом сочетаний типа циркуляционных эпох и фаз

11-летних циклов солнечной активности. Расчеты осуществлены по следующей формуле:

$$H_n = H_N \pm \Delta H_S \pm \Delta H_c,$$

*где* $H_n$ — рассчитываемый уровень отдельного года или группы лет; $H_N$ — многолетний средний уровень за период 1904—1966 гг., $\Delta H_s$ — поправка к среднему уровню на солнечную активность, $\Delta H_c$ — поправка к среднему уровню на тип циркуляции эпохи.

Величины поправок к многолетней норме для расчета уровня Арала приняты следующие:

| Вид поправки | Величина поправки ($\Delta H$) |
|---|---|
| 1) на солнечную активность в фазе максимума (*М*) | +25 *см*, |
| 2) на солнечную активность в фазе минимума (*м*) | —25 » |
| 3) на солнечную активность в промежуточные годы (*п*) | 0 » |
| 4) на индекс циркуляции *Ш* | 0 » |
| 5) то же *С* | —30 » |
| 6) » *Е* | +25 » |
| 7) » *Е*+*С* | +20 » |
| 8) » *Ш*+*Е* | |

Расчеты уровня по отдельным годам и 5-6-летиям приведены в табл. 1, из которой видно, что погрешность для отдельных лет доходит до 59 *см*, т. е. более 25% амплитуды колебания годовых значений (200 *см*). Однако подавляющее большинство лет (89%) имеет погрешность менее 40 *см*. Даже менее 30 *см* (15% амплитуды) погрешность встречается 76% лет.

Такие результаты расчетов свидетельствуют о возможности использования разработанного метода для восполнения рядов наблюдений и контроля тех наблюдений, которые восстановлены менее точными расчетами.

Можно говорить также о целесообразности применения вышеприведенного уравнения для расчета естественного уровня Аральского моря на предстоящие годы. Однако при этом необходимо иметь в виду, что в уравнение должны входить предполагаемые характеристики фаз солнечной активности и эпохи атмосферной циркуляции, которые, правда, прогнозируются с обеспеченностью более 90%.

В табл. 2 отдельно приведены рассчитанные и фактические уровни по 5-6-летиям, а также погрешность таких расчетов. В среднем погрешность менее 15 *см* и только в 3 из 12 (25%) она больше 20 *см*.

Погрешность расчета уровня на 5-6-летия оказалась значительно меньше погрешности расчетов на отдельные годы. Однако для оценки успешности 5-6-летних расчетов необходимо вычислить относительную ошибку по формуле

$$\alpha = \frac{\delta}{\gamma},$$

где $\delta$ — средняя величина погрешности расчетов, а $\gamma$ — средняя межпериодная изменчивость 5-6-летних уровней. Величина

*Таблица 1*

**Расчет уровня (*см*) Аральского моря**

| Год | Фаза | Индекс циркуляции | Расчет уровня $H$ | $H$ фактическое | Погрешность расчета |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1904 | *М* | *С* | 150+25—30 = 145 | 140 | 5 |
| 1905 | » | » | 150+25—30 = 145 | 142 | 3 |
| 1906 | » | » | 150+25—30 = 145 | 146 | 1 |
| 1907 | » | » | 150+25—30 = 145 | 160 | 15 |
| 1908 | » | » | 150+25—30 = 145 | 180 | 35 |
| 1909 | *п* | » | 150—30 = 120 | 150 | 30 |
| | | | 141 | 153 | 15 |
| 1910 | *п* | *Ш + Е* | 150+20 = 170 | 170 | 0 |
| 1911 | » | » | 150—25+20 = 145 | 190 | 45 |
| 1912 | » | » | 150—25+20 = 145 | 178 | 33 |
| 1913 | » | » | 150—25+20 = 145 | 180 | 35 |
| 1914 | » | » | 150—25+20 = 145 | 120 | 25 |
| | | | 150 | 167 | 28 |
| 1915 | *п* | *Ш* | 150 = 150 | 119 | 31 |
| 1916 | *М* | » | 150+25 = 175 | 118 | 57 |
| 1917 | » | » | 150+25 = 175 | 140 | 35 |
| 1918 | » | » | 150+25 = 175 | 160 | 15 |
| 1919 | *п* | » | 150 = 150 | 160 | 10 |
| | | | 165 | 139 | 30 |
| 1920 | *п* | *Ш* | 150 = 150 | 175 | 25 |
| 1921 | *м* | » | 150—25 = 125 | 160 | 25 |
| 1922 | » | » | 150—25 = 125 | 142 | 7 |
| 1923 | » | » | 150—25 = 125 | 146 | 11 |
| 1924 | *п* | » | 150 = 150 | 130 | 5 |
| | | | 135 | 151 | 15 |
| 1925 | *п* | *Ш* | 150 = 150 | 120 | 30 |
| 1926 | *М* | » | 150+25 = 175 | 120 | 55 |
| 1927 | » | » | 150+25 = 175 | 160 | 15 |
| 1928 | » | » | 150+25 = 175 | 200 | 25 |
| 1929 | » | *Е* | 150+25+25 = 200 | 182 | 18 |
| | | | 175 | 156 | 29 |
| 1930 | *п* | *Е* | 150+25 = 175 | 200 | 25 |
| 1931 | *м* | » | 150—25+25 = 150 | 208 | 58 |
| 1932 | » | » | 150—25+25 = 150 | 180 | 30 |
| 1933 | » | » | 150—25+25 = 150 | 160 | 10 |
| 1934 | » | » | 150—25+25 = 150 | 140 | 10 |
| 1935 | » | » | 150+25 = 175 | 116 | 59 |
| | | | 158 | 167 | 32 |

*Продолжение табл. 1*

| Год | Фаза | Индекс циркуляции | Расчет уровня $H$ | | $H$ фактическое | Погрешность расчета |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 |
| 1936 | *М* | *С* | 150+25—30 | = 145 | 118 | 27 |
| 1937 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 122 | 23 |
| 1938 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 130 | 15 |
| 1939 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 124 | 21 |
| 1940 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 120 | 25 |
| | | | | 145 | 123 | 22 |
| 1941 | *п* | *С* | 150—30 | = 120 | 130 | 10 |
| 1942 | *м* | » | 150—25—30 | = 95 | 138 | 43 |
| 1943 | » | » | 150—25—30 | = 95 | 140 | 45 |
| 1944 | » | » | 150—25—30 | = 95 | 120 | 25 |
| 1945 | *п* | » | 150—30 | = 120 | 130 | 10 |
| | | | | 105 | 134 | 27 |
| 1946 | *М* | *С* | 150+25—30 | = 145 | 140 | 5 |
| 1947 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 126 | 19 |
| 1948 | » | » | 150+25—30 | = 145 | 150 | 5 |
| 1949 | » | *Е* + *С* | 150+25 | = 175 | 164 | 11 |
| 1950 | » | *С* | 150+25 | = 175 | 172 | 3 |
| | | | | 157 | 150 | 7 |
| 1951 | *п* | *Е* + *С* | 150 | = 150 | 124 | 26 |
| 1952 | *м* | » | 150—25 | = 125 | 124 | 1 |
| 1953 | » | » | 150—25 | = 125 | 140 | 15 |
| 1954 | » | » | 150—25 | = 125 | 168 | 33 |
| 1955 | *п* | « | 150 | = 150 | 174 | 24 |
| | | | | 135 | 146 | 20 |
| 1956 | *М* | *Е* + *С* | 150+25 | = 175 | 180 | 5 |
| 1957 | » | » | 150+25 | = 175 | 174 | 1 |
| 1958 | » | » | 150+25 | = 175 | 172 | 3 |
| 1959 | » | » | 150+25 | = 175 | 188 | 13 |
| 1960 | » | » | 150+25 | = 175 | 192 | 17 |
| | | | | 175 | 181 | 8 |
| 1961 | *п* | *Е* + *С* | 150 | = 150 | 184 | 34 |
| 1962 | *м* | » | 150—25 | = 125 | 160 | 35 |
| 1963 | » | » | 150—25 | = 125 | 124 | 1 |
| 1964 | » | » | 150—25 | = 125 | 112 | 13 |
| 1965 | » | *С* | 150—25—30 | = 95 | 80 | 15 |
| | | | | 124 | 132 | 20 |

*Таблица 2*

**Рассчитанные 5-6-летние средние уровни Аральского моря, фактические средние уровни и погрешность расчетов**

| Период | Рассчитанные $H$ | Фактические $H$ | Погрешность расчета среднего уровня | Средняя погрешность расчетов по годам |
|---|---|---|---|---|
| 1904—1909 | 141 | 153 | 12 | 15 |
| 1910—1914 | 150 | 167 | 17 | 28 |
| 1915—1919 | 165 | 139 | 26 | 30 |
| 1920—1924 | 135 | 151 | 13 | 16 |
| 1925—1929 | 175 | 156 | 19 | 29 |
| 1930—1935 | 158 | 167 | 9 | 32 |
| 1936—1940 | 145 | 123 | 22 | 22 |
| 1941—1945 | 105 | 134 | 29 | 27 |
| 1946—1950 | 157 | 150 | 7 | 7 |
| 1951—1955 | 135 | 146 | 11 | 20 |
| 1956—1960 | 175 | 181 | 6 | 8 |
| 1961—1965 | 124 | 132 | 8 | 20 |
| | | | 14,9 | 21,1 |

$$\alpha = \frac{14,9}{20,8} = 0,71$$

$\alpha = \frac{14,9}{20,8} = 0,71$, что является хорошим результатом, ибо общепринятыми оценками являются следующие:

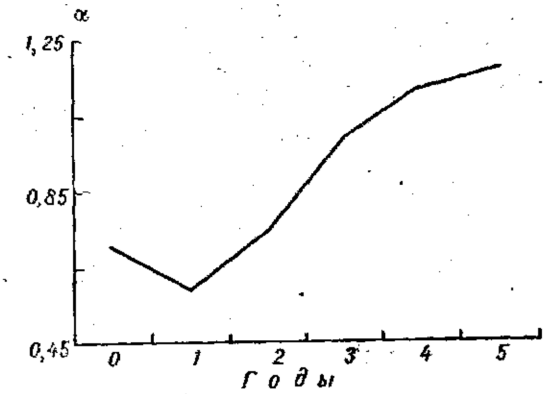



Рис. 1. Изменение относительной ошибки расчета ($\alpha$) среднего пятилетнего уровня Аральского моря при различной степени асинхронности сопоставляемых пятилеток

при $\alpha > 1,0$ — неудовлетворительная;
при $0,75 < \alpha \leqslant 1,0$ — удовлетворительная;
при $0,50 < \alpha < 0,75$ — хорошая;
при $\alpha < 0,50$ — отличная

*Таблица 3*

**Рассчитанные 5-6-летние средние уровни Аральского моря и погрешность**

| Период | Рассчитанные $H$ | Фактические $H$ | Погрешность |
|---|---|---|---|
| Фактические средние уровни со сдвигом на один год | | | |
| 1904—1909—1905—1910 | 141 | 158 | 17 |
| 1910—1914—1911—1915 | 150 | 157 | 7 |
| 1915—1919—1916—1920 | 165 | 151 | 14 |
| 1920—1924—1921—1925 | 138 | 137 | 1 |
| 1925—1929—1926—1930 | 175 | 172 | 3 |
| 1930—1935—1931—1936 | 158 | 153 | 5 |
| 1936—1910—1937—1941 | 145 | 125 | 20 |
| 1941—1945—1942—1946 | 105 | 134 | 29 |
| 1946—1950—1947—1951 | 157 | 147 | 10 |
| 1951—1955—1952—1956 | 135 | 157 | 22 |
| 1956—1960—1957—1961 | 175 | 182 | 7 |
| | | | 12,3 |

$$\alpha = \frac{12,3}{20,8} = 0,60$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Фактические средние со сдвигом на два года | | | |
| 1904—1909—1906—1911 | 141 | 166 | 25 |
| 1910—1914—1912—1916 | 150 | 143 | 7 |
| 1915—1919—1917—1921 | 165 | 159 | 6 |
| 1920—1924—1922—1936 | 138 | 132 | 6 |
| 1925—1929—1927—1931 | 175 | 190 | 15 |
| 1930—1935—1932—1937 | 158 | 139 | 19 |
| 1936—1940—1938—1942 | 145 | 128 | 17 |
| 1941—1945—1943—1947 | 105 | 131 | 26 |
| 1946—1950—1948—1952 | 157 | 147 | 10 |
| 1951—1955—1953—1957 | 135 | 167 | 32 |
| 1956—1960—1958—1962 | 175 | 179 | 4 |
| | | | 15,2 |

$$\alpha = \frac{15,2}{20,8} = 0,73$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Фактические средние со сдвигом на три года | | | |
| 1904—1909—1907—1912 | 141 | 171 | 30 |
| 1910—1914—1913—1917 | 150 | 135 | 15 |
| 1915—1919—1918—1922 | 163 | 159 | 4 |
| 1920—1924—1923—1927 | 138 | 135 | 3 |
| 1925—1929—1928—1932 | 175 | 194 | 19 |
| 1930—1935—1933—1937 | 158 | 129 | 29 |
| 1936—1940—1939—1943 | 145 | 106 | 39 |
| 1941—1945—1944—1948 | 105 | 133 | 28 |
| 1946—1950—1949—1953 | 157 | 145 | 12 |
| 1951—1955—1954—1958 | 135 | 174 | 39 |
| 1956—1960—1959—1963 | 175 | 166 | 9 |
| | | | 20,6 |

$$\alpha = \frac{20,6}{20,8} = 0,99$$

Продолжение табл. 3

| Период | Рассчитанные $H$ | Фактические $H$ | Погрешность |
|---|---|---|---|
| Фактические средние со сдвигом на четыре года | | | |
| 1904—1909—1908—1913 | 141 | 174 | 31 |
| 1910—1914—1914—1918 | 150 | 131 | 19 |
| 1915—1919—1919—1923 | 163 | 157 | 6 |
| 1920—1924—1924—1928 | 138 | 146 | 8 |
| 1925—1929—1929—1933 | 175 | 186 | 11 |
| 1930—1935—1934—1938 | 158 | 104 | 54 |
| 1936—1940—1940—1944 | 145 | 130 | 15 |
| 1941—1945—1945—1949 | 105 | 142 | 37 |
| 1946—1950—1950—1954 | 157 | 146 | 11 |
| 1951—1955—1955—1959 | 135 | 178 | 43 |
| 1956—1960—1960—1964 | 175 | 154 | 21 |
| | | | 23,3 |

$$\alpha = \frac{23,3}{20,8} = 1,12$$

Уместно сказать здесь, что, как видно, из табл. 2, резкий спад уровня от 5-летия 1956—1960 гг. к последующему 5-летию не является только результатом изъятия части стока Сырдарьи и Амударьи на орошение, а в значительной степени результат состоя-

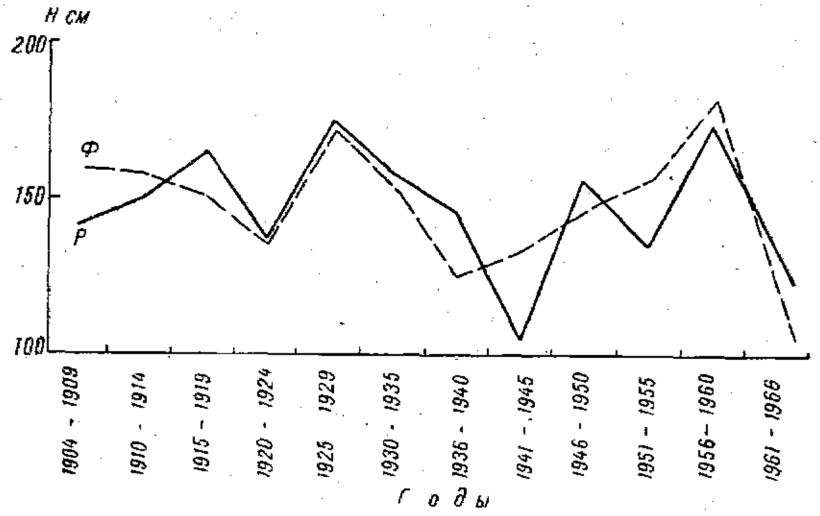



Рис. 2. Рассчитанные ($Р$) и фактические ($Ф$) средние уровни Аральского моря по 5-6-летиям со сдвигом на один год

ния гелио-климатических факторов. В это время наблюдалась фаза минимума 11-летнего солнечного цикла, сочетающаяся с высокой повторяемостью в зимние месяцы типа $С$ циркуляции, который в 1961—1965 гг. составлял 60—80% всех процессов.

Сопоставление рассчитанных 5-6-летних уровней со средними фактическими уровнями соответствующих периодов, сдвинутых на

*Таблица 4*

**Рассчитанные 5-6-летние средние уровни Аральского моря, фактические средние уровни со сдвигом на пять лет и погрешность**

| Период | Рассчитанный средний уровень | Фактический средний уровень | Погрешность расчета среднего уровня | Погрешность в % от амплитуды |
|---|---|---|---|---|
| 1904—1909 | 141 | 167 | 26 | |
| 1910—1914 | 150 | 139 | 11 | |
| 1915—1919 | 165 | 151 | 14 | |
| 1920—1924 | 138 | 156 | 18 | |
| 1925—1929 | 175 | 167 | 8 | |
| 1930—1935 | 158 | 123 | 35 | |
| 1936—1940 | 145 | 134 | 11 | |
| 1941—1945 | 105 | 150 | 45 | |
| 1946—1950 | 157 | 146 | 11 | |
| 1951—1955 | 135 | 181 | 46 | |
| 1956—1960 | 175 | 132 | 43 | |
| | | | 24,3 | |

$$\alpha = \frac{24,3}{20,8} = 1,17$$

1, 2, 3, 4 и 5 лет, показало, что относительная ошибка при сдвиге на один год уменьшается до 0,60, а далее с увеличением сдвига на 2, 3, 4 и 5 лет соответственно до 0,73, 0,99, 1,12, 1,17 (табл. 3, 4). Графическое изображение хода величины относительной ошибки расчетов приведено на рис. 1. Эти величины приведены также в сводной табл. 5. Из них видно, что сдвиг на 4 года дает уже неудовлетворительную оценку, которая продолжает расти при дальнейшем увеличении сдвига.

*Таблица 5*

**Относительная ошибка расчетов 5-6-летних уровней Аральского моря при синхронном и асинхронном сопоставлении рассчитанных и фактических уровней**

| Вид сопоставления | Погрешность расчета | Относительная ошибка |
|---|---|---|
| Синхронное . . . . . | 14,9 | 0,71 |
| Со сдвигом на один год . . . . . | 12,3 | 0,60 |
| Со сдвигом на два года . . . . . | 15,2 | 0,73 |
| Со сдвигом на три года . . . . . | 20,6 | 0,99 |
| Со сдвигом на четыре года . . . . | 23,3 | 1,12 |
| Со сдвигом на пять лет . . . . . | 24,3 | 1,17 |
| Среднее . . . . . | 18,4 | 0,89 |

Таким образом, наилучшие результаты расчетов средних 5-6-летних уровней Аральского моря (относительная ошибка $\alpha = 0,60$)

получаются при отнесении их к периоду соответствующей длины, сдвинутому на один год. С увеличением сдвига от двух до трех лет относительная ошибка резко (на 0,26) увеличивается.

Ход рассчитанных и фактических средних уровней по 5-6-летиям лучше всего видеть на их графическом изображении, приведенном на рис. 2. Показатель аналогичности, рассчитанный по уравнению

$$A = K\frac{P'}{P''}\cos\alpha,$$

равен 0,72.

В этом уравнении $K$ — масштабный коэффициент, $\alpha$ — средний угол между линиями, соединяющими значения уровней соседних периодов, $\frac{P'}{P''}$ — отношение площадей между ординатами соседних периодов, осью абсцисс и указанными линиями, из которых одна расчетная, а другая фактическая.

ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX-м столетии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
2. Белинский Н. А., Калинин Г. П. О прогнозах колебаний уровня Каспийского моря. Труды НИУ ГУГМС, сер. IV, вып. 37, М., 1946.
3. Белинский Н. А., Калинин Г. П. Предварительные сведения о перспективах изменения уровня Каспийского моря на 1956—1970 гг. Труды Океанографической комиссии, т. V. Проблемы Каспийского моря. Изд. АН СССР, 1959.
4. Геллер С. Ю. Некоторые аспекты проблемы Аральского моря. Сб. «Проблемы Аральского моря». Наука, М., 1969.
5. Гирс А. А. Эпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и связанные с ними колебания уровня Каспийского моря. Изв. АН СССР, серия географ., № 1, 1957.
6. Голубцов В. В. О влиянии вековых изменений солнечной активности на водность рек. Труды КазНИГМИ, вып. 21, 1964.
7. Каминский А. А. К вопросу о влиянии на колебания уровня Каспийского моря осадков в его бассейне. Изв. ЦГМБ, вып. 6, Л., 1926.
8. Каминский А. А. О причинах колебаний уровня Каспия. Изв. ЦГМБ, вып. 8, Л., 1929.
9. Львов В. П. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
10. Соскин И. М. Уровень Каспия и солнечная активность. Труды ГГО, вып. 89, 1959.
11. Эйгенсон М. С. Колебания Каспийского моря и солнечная активность. Сверхдолгосрочные прогнозы уровня Каспийского моря (Институт океанологии АН СССР). М., 1957.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# СВЯЗЬ СРЕДНИХ ГОДОВЫХ УРОВНЕЙ АРАЛЬСКОГО МОРЯ С ПРЕОБЛАДАЮЩИМИ ТИПАМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Связь 5-летних уровней с соотношениями типов атмосферной циркуляции и солнечной активности [1] позволяет осуществлять фоновый расчет уровня Аральского моря (среднее значение за 5-летие). Эти данные, несомненно, представляют существенный интерес для проектировщиков, работников оросительных систем и транспортно-рыболовецкого флота. Однако не менее важно знать также средние годовые значения уровня Арала с заблаговременностью хотя бы в два-три месяца до весенне-летнего сезона. Тем не менее методов для таких расчетов еще не существует.

Поэтому была сделана попытка найти связи среднегодовых значений уровней Арала с повторяемостью трех типов атмосферной циркуляции за год, начинающейся с августа месяца с тем, чтобы располагая данными о фактической циркуляции за период с августа по март или апрель, можно было бы в конце марта или апреля рассчитать средний годовой уровень. Такой расчет требует наличия прогноза атмосферной циркуляции на три-четыре месяца вперед, что нами осуществляется с обеспеченностью около 80%.

Следовательно, такая обеспеченность прогноза циркуляции не может сказаться существенно на успешности расчета уровня Арала, ибо за 60—70% оперативного года (VII—VIII) учитывается фактическая циркуляция.

Необходимость учета истекшей циркуляции для расчета уровня моря текущего года обосновывается явлением запаздывания в поступлении в Арал вод, выпавших в виде атмосферных осадков на территорию его бассейна. Аналогичный факт обнаружен ранее для бассейна Волги [2], где величина половодья данного года тесно связана с атмосферной циркуляцией. Максимальный уровень Волги у Астрахани имеет обратную связь с числом дней за истекший год с циркуляцией типа $E$ (обеспеченность 91%) при допуске погрешности $\pm 17\%$. Весьма тесные аналогичные связи найдены также для других рек Европейской территории СССР (Дона, Хопра, Оки и др.).

На рис. 1 видно, что между величинами уровня Аральского моря и повторяемостью атмосферной циркуляции типа $E$ за период

с августа по июль последующего года имеется прямая связь, теснота которой при допуске погрешности до ±20% амплитуды колебания уровня в 1904—1963 гг. оценивается в 71,2%.

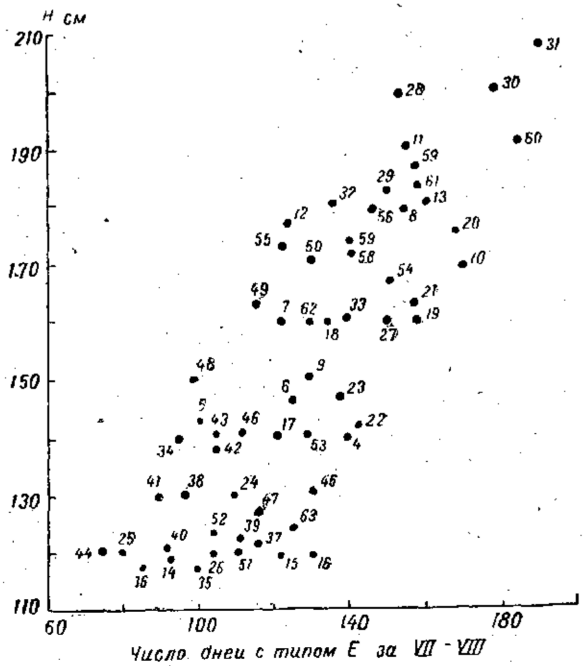



Рис. 1. Связь между уровнем Аральского моря и числом дней за июль—август с типом *E* атмосферной циркуляции (1904—1963 гг.)

На графике связи (рис. 1) не учтены данные за 1964 и 1965 гг., в которые началось существенное изъятие воды из Сырдарьи и Амударьи на орошение. Однако, принимая во внимание состояние климатообразующих факторов в эти годы, естественным можно считать и резко понизившийся уровень в 1964—1965 гг. Тогда, приняв допустимую погрешность в 20% амплитуды, можно оценить обеспеченность связи в 81,5%, что приемлемо для оперативного прогнозирования.

Таким образом, можно констатировать наличие определенной методической базы для разработки методов расчета ожидаемых уровней Аральского моря как на 5-летия, так и на отдельные годы. Первоначальное состояние методов расчета показывает возможности дальнейшего их развития. Основным моментом при этом будет учет солнечной активности, позволяющей более обоснованно определять суммарные осадки в бассейне, ибо данные метеорологических станций могут быть использованы для определения количества выпадающих осадков сугубо условно. Дело в том, что, как показывают эксперименты и теорстические расчеты,

полную гарантию правильной оценки суммы осадков, выпадающих в бассейне, можно иметь лишь тогда, когда измерения будут производиться на каждой элементарной площадке размерами около $10^7$ $м^2$. Это не значит, что такой способ измерения неизбежен.

Для больших территорий и длительных (порядка месяцев и более) периодов времени количество осадков можно достаточно точно определять с помощью количественных показателей климатообразующих факторов на основе компонентного анализа.

Мы считаем, что расчет уровней замкнутых водоемов и объема стока питающих их рек уже сейчас может осуществляться успешно на основе мегафакторных моделей расчета. Естественно, что использованию таких расчетов в оперативной практике должны предшествовать опытные расчеты с соответствующей заблаговременностью. Пока же ученые и практики уделяют явно недостаточное внимание этим расчетам, что вызвано неверием в возможность успешных прогнозов. Такой скептицизм порождает развитие двух почти противоположных и почти ложных тенденций.

Одна из этих тенденций ведет к общевероятностному подходу к решению проблемы учета предстоящих изменений уровенных режимов в связи с водохозяйственными мероприятиями. Конечно, вероятностное решение дает возможность для смелых действий, обеспечивает достаточную страховку и спокойствие авторам. Однако это далеко не самое эффективное решение.

Вероятностные характеристики тех или иных значений (градаций) уровней водоемов или стока рек (или даже сумм осадков) далеко не устойчивы и чтобы учесть их динамику необходимы серьезные физические исследования климатообразующих факторов, различные сочетания которых создают ситуации (периоды), в которые общая вероятность, т. е. вероятность по всему ряду наблюдений без подразделения на физически обусловленные отрезки времени, может численно колебаться в весьма широких пределах. Так, если уровень, равный 150% нормы, во всем ряду встречается в среднем один раз в 20 лет, то в отдельные 20-летия эта вероятность (5%) может изменяться и достигать как 0%, так и 30—40%, что весьма не безразлично для хозяйственных и плановых органов.

Возьмем к примеру катастрофические засухи. В Казахстане они встречаются в среднем один раз в 10—11 лет, но в 5-летия, совпадающие серединным годом с максимумом 11-летних циклов солнечной активности, вероятность их равна нулю. Напротив, в 5-летия, серединный год которых совпадает с годом минимума солнечной активности, вероятность катастрофической засушливости составляет 20%.

Выбор периода для дифференцированного подсчета вероятностей не может быть осуществлен механически по 10-летиям (последовательным или скользящим), 5-летиям или другим отрезкам времени. Для этой цели необходимы тщательные исследования физических закономерностей методами факторно-компонентного анализа.

О второй тенденции, вытекающей из скептического отношения к возможностям методических расчетов и прогнозов, коротко можно сказать следующее. Она сводится к стремлению определять и учитывать крупные (многолетние) циклы изучаемого объекта (уровня, объема стока и пр.), Однако этот путь, хотя и не очень сложный, но будучи односторонним малоэффективен. Как известно, современные исследования [3—5] показывают, что климатические циклы неустойчивы во времени и неоднородны в пространстве. Поэтому использование их для расчетов той или иной характеристики гидрометеорологического режима крайне затруднительно. Для выхода из этого затруднения опять-таки необходим физический анализ собственных колебаний каждого климатообразующего фактора и сочетание во времени основных климатообразующих и климатовозмущающих факторов.

Таким образом, указанные две тенденции в исследованиях многолетних рядов уровенных и стоковых режимов не обеспечивают удовлетворения современных народнохозяйственных запросов.

Наиболее важными из оперативных планов народного хозяйства сейчас, пожалуй, являются годовые и пятилетние планы, максимальная эффективность выполнения которых связана научным подходом к использованию природных ресурсов. Без расчетов на средние сроки (1—5 лет) учет даже сезонных характеристик природно-обусловленной среды не может быть максимально эффективным. Без таких расчетов решение водохозяйственных задач по орошению и рациональному использованию Аральского моря будет сопряжено с трудностями и нежелательными последствиями. Так, непредвиденные условия большого увлажнения могут привести к неожиданной необходимости регулирования воды в руслах рек и оросительных системах во избежание чрезмерного затопления высокими водами орошаемых земель и превращения их на несколько лет в обширные озера.

В целях своевременного накопления нужного для орошения объема воды в очень мало увлажненные годы также невозможно обойтись без соответствующих расчетов. Отсюда вытекает необходимость организации серьезных научных исследований в целях дальнейшего совершенствования предлагаемых методов анализа и расчета гидрологических характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Байдал М. Х. Расчет уровня Аральского моря на 5-6-летние периоды с помощью гелиосиноптической модели. (См. настоящий сборник).
2. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. I и II, Гидрометеоиздат, Л., 1964.
3. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX-м столетии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
4. Дроздов О. А., Григорьева А. С. О проявлении цикличности в ходе количества атмосферных осадков на территории СССР. Труды ГГО, вып. 245, 1969.
5. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современные изменения климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.

*М. Х. БАЙДАЛ*

# ФАКТОРНО-КОМПОНЕНТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ГОДОВЫХ СУММ ОСАДКОВ ПО ПРИАРАЛЬЮ И АРАЛЬСКОМУ МОРЮ

Как известно, в водном балансе Аральского моря существенную долю составляют осадки, выпадающие на его поверхности. По данным Гипроводхоза их доля составляет 16,7% или около одной шестой его приходной части. Отсюда вытекает большое значение методов расчета осадков на длительные отрезки времени порядка нескольких лет и десятилетий. По существу кроме попыток, которые описаны в работах [1—4], методик для расчета осадков на такие отрезки времени не предлагалось.

Ниже остановимся на методе расчета годовых сумм осадков, основанных на климатообразующих факторах. Последние учитываются в крупных формах, позволяющих судить об их характеристиках, охватывающих промежутки времени, соизмеримые с фазами 11-летних циклов солнечной активности и эпох атмосферной циркуляции. Рассматриваются периоды различного соотношения фаз 11-летних циклов с типом преобладающей циркуляции эпохи В среднем такие соотношения охватывают два-три года.

Полученные автором нормы осадков для различных типов атмосферной циркуляции с исключением влияния солнечной активности (индивидуальные нормы), а также нормы осадков для различного уровня солнечной активности при однородной циркуляции, т. е. с исключением влияния типа атмосферной циркуляции позволили приступить к расчету осадков для различных промежутков времени (месяц, сезон, год и пр.). Для этого необходимо знать фазу солнечного цикла и преобладающий тип атмосферной циркуляции.

Естественно, что за прошедшее время преобладающий тип циркуляции может быть учтен за любой интересующий нас отрезок времени по фактическим данным. Что же касается будущего, то он может учитываться лишь как эпохальная характеристика, т. е. в течение целой эпохи учитывается вклад одного и того же типа циркуляции (постоянная поправка на циркуляцию). На несколько предстоящих месяцев может быть учтен прогнозируемый тип циркуляции.

Солнечная активность для расчета осадков на будущее также берется в предсказываемых значениях. Следует здесь оговорить,

что и тип атмосферной циркуляции эпохи [5], и основные черты ожидаемого хода солнечной активности на ближайшие 1—3 десятилетия прогнозируется довольно успешно.

Для расчета годовых сумм осадков используется схема уравнения колебаний климата в той модели, в какой она применена для расчета пятилетних уровней Аральского моря [6]. Это уравнение позволяет рассчитать годовое количество осадков со средней ошибкой, не превосходящей среднюю межгодовую изменчивость. На рис. 1 приведен ход рассчитанных годовых сумм осадков

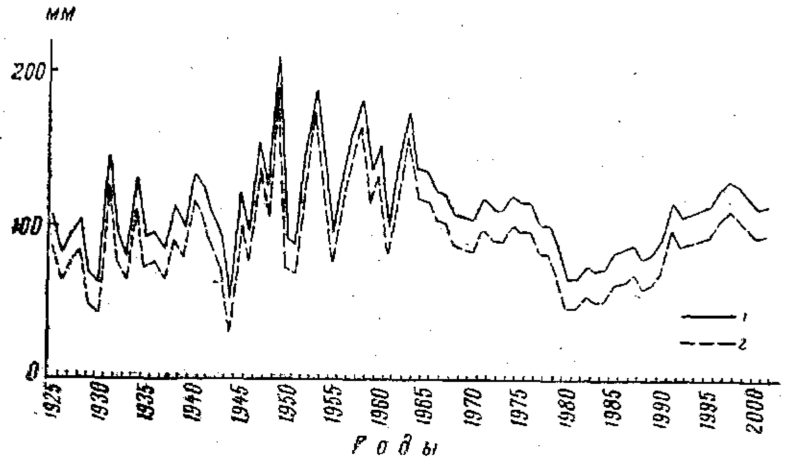



Рис. 1. Многолетний ход рассчитанных годовых сумм осадков по Северному Приаралью (*1*) и по Аральскому морю (*2*)

по Северному Приаралью (в среднем по станциям Казалинск, Аральское море, Челкар) и по побережью (Казалинск, Аральское море, Ляк-Кум, Уялы) с 1925 г., т. е. года, с которого имеются годовые осадки по всем указанным станциям. Кривая для прибрежных станций построена путем пересчета на основе разности групповых норм, которые отличаются друг от друга весьма незначительно.

Для расчета годовых сумм осадков по Приаралью в применяемом уравнении знаки поправок на фазы солнечной активности брались обратные тем, которые использованы для расчета уровней Аральского моря.

Поправки на солнечную активность для фаз 11-летних циклов для акватории Аральского моря и прибрежной зоны, так же как для побережья Каспия и Балхаша, имеют знак, обратный континентальным станциям [5]. Для расчета уровня Аральского моря, поскольку бассейны, питающих его рек (Амударьи и Сырдарьи) являются глубоко континентальными, учитывались знаки поправок для континентальных станций. Они положительны для фаз максимума и отрицательны для фаз минимума 11-летнию циклов. Такие знаки использованы для расчета уровня Аральского моря,

который на 83,3% формируется за счет стока Сырдарьи и Амударьи, бассейны водосбора которых находятся на значительном расстоянии от моря, в предгорных и горных районах Средней Азии.

При расчетах осадков только на один предстоящий год кроме типа атмосферной циркуляции и солнечной активности могут быть учтены еще два фактора ,а именно: динамика мгновенного полюса вращения Земли (МПВЗ) и 2-летняя цикличность.

Для расчета осадков, результаты которого приведены на рис. 1, влияние МПВЗ учтено в том виде, что нормы осадков в расчетах берутся не как средние многолетние, а моделированные с учетом многолетней тенденции, обусловленной МПВЗ. Если же все факторы учесть в явном виде, то общее уравнение примет вид

$$R = N(1 + A + B + C),$$

где отдельные слагающие рассчитываемой величины обусловлены климатообразующими факторами.

На рис. 1 видно, что ход годовых сумм осадков до 2000 г. имеет более простой вид, нежели за прошедшие годы (с 1925 по 1964 г.) по той причине, что вперед осадки рассчитывались с постоянной поправкой на тип атмосферной циркуляции для каждой из ожидаемых эпох, а за прошедшие годы эти поправки брались сообразно фактической циркуляции за каждый год в отдельности.

Тем не менее видно, что до 2000 г. годовые суммы осадков имеют общую тенденцию к увеличению в пределах ближайшего геодинамического цикла. Относительное понижение в восьмидесятых годах на фоне тенденции подъема обусловлено меридиональной циркуляции типа *C*, наличие которой обязывает пользоваться в уравнении знаком минус для поправки на тип атмосферной циркуляции.

В заключение следует отметить, что приведенное выше уравнение в течение 1969—1971 гг. использовалось для оперативного расчета месячных сумм осадков по территории Казахстана с заблаговременностью один — пять месяцев. Успешность таких расчетов за три года составила 74% при оправдываемости официальных месячных прогнозов в 65%.

Расчет годовых осадков с 1925 по 1969 г. также имеет оправдываемость около 70%, что выше климатических расчетов более чем на 20%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдал М. Х. К вопросу о масштабах и формах влияния солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
2. Байдал М. Х. О структуре влияния солнечной активности на атмосферные осадки. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
3. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.
4. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX-м столетии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
5. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Гидрометеоиздат, Л., ч. I, II, 1964, ч. III, 1965.
6. Байдал М. Х. Расчет уровня Аральского моря на 5-6-летние периоды с помощью гелиосиноптической модели. (См. настоящий сборник).

*А. Н. ЖИРКЕВИЧ*

# ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА БАЛХАШ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ В СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ИЛИ-БАЛХАШСКОГО БАССЕЙНА

Хозяйственное освоение территории Или-Балхашского бассейна в ближайшие три десятилетия будет в значительной мере зависеть от использования его богатых водно-земельных и гидроэнергетических ресурсов. Бассейн оз. Балхаш располагает поверхностными водными ресурсами, превосходящими по удельным показателям (на 1 *км*$^2$ территории и на 1 жителя) основные территории «обжитой» части РСФСР и Казахской ССР. Удельные водные ресурсы территории Или-Балхашского бассейна более чем в четыре раза превышают водные ресурсы Казахстана. Суммарные водные ресурсы поверхностных вод, полученные как сумма многолетних равнообеспеченных значений годового стока отдельных бассейнов рек в створах до выхода из гор, равны 24,2 *км*$^3$ или 35% всех водных ресурсов Казахстана.

Благоприятные почвенно-климатические условия способствуют развитию в бассейне орошаемого земледелия. В настоящее время в бассейне орошается 474 тыс. *га* земель, что составляет более 30% всех орошаемых земель республики. Однако основные реки этого бассейна Или и Каратал используются для орошения пока в незначительных размерах. Земельный фонд Или-Балхашского бассейна для первоочередного освоения оценивается ориентировочно в 1,3—1,5 млн. *га*, из них в низовьях р. Или — 200—220 тыс. *га*. Это свидетельствует о наличии резервов для дальнейшего развития орошения.

В бассейне р. Или — основной водной артерии оз. Балхаш — создана Капчагайская ГЭС с водохранилищем многолетнего регулирования емкостью 28 *км*$^3$. Накопленный объем в водохранилище уже к концу 1971 г. достигнет примерно 9 *км*$^3$. В связи с этим дальнейшее использование водных ресурсов в бассейне будет связано с режимом работы этого комплексного объекта. Обсуждение вопроса о всестороннем географо-экономическом обосновании Капчагайского гидроузла, являющегося первоочередным объектом в Или-Балхашском бассейне, не входит в задачи настоящей статьи. В ней дана только ориентировочная оценка влияния этого объекта совместно с развитием орошения на изменение физико-географических условий в низовьях р. Или и водный баланс оз. Балхаш.

Разработка правильного направления использования водноземельных ресурсов бассейна для перспективного развития народного хозяйства является главной задачей схемы комплексного использования водных и земельных ресурсов Или-Балхашского бассейна. В настоящее время Казахский филиал Гидропроекта приступил к составлению этой схемы. Одной из задач схемы является оценка влияния увеличения безвозвратного водопотребления в бассейне оз. Балхаш на режим его уровня и гидрохимическое состояние. Развитие водопользования в бассейне оз. Балхаш (наполнение Капчагайского водохранилища, развитие мелиорации земель) неизбежно повлияет на естественный режим территории, приведет к существенным нарушениям воднобалансовых соотношений в бассейне, а также к изменению режима дельты р. Или и самого озера, имеющего большое народнохозяйственное значение.

Управление водным режимом и разработка плана комплексного использования водных ресурсов в народном хозяйстве возможно только на основе достаточно четких представлений о закономерностях формирования водного баланса бассейна и самого оз. Балхаш. Степень точности и достоверности воднобалансовых расчетов, характеризующих естественный и прогнозируемый режим водного и солевого баланса озера, зависит от точности исходных данных. При современном состоянии изученности отдельных составляющих водного баланса озера нельзя правильно решить основные вопросы схемы без проведения дополнительных крупных изыскательских и исследовательских работ. В настоящей статье приводятся некоторые результаты расчетов водного баланса озера с оценкой колебаний основных его элементов и перспективой их изменений в будущем. Предлагаемые решения, безусловно, носят приближенный характер и потребуют уточнений. В связи с этим в статье уделено внимание задачам дальнейших исследований по нерешенным воднобалансовым проблемам оз. Балхаш.

**Общие морфометрические данные оз. Балхаш.** Озеро Балхаш является одним из крупнейших в СССР; его площадь составляет около 18 тыс. *км*$^2$, наибольшая глубина — 26 *м*. Оно расположено в обширной впадине тектонического происхождения. С севера к нему примыкает Казахский мелкосопочник, а с юга — пески Сары-Ишикотрау. Озеро получает питание с огромного бассейна площадью 413 тыс. *км*$^2$. Однако действующая часть водосбора составляет всего около 182 тыс. *км*$^2$, в которую входят бассейны рек Или, Каратала, Ак-Су и Лепсы, впадающих в озеро с юга и юго-востока.

Одной из характерных особенностей озера является четкое разделение его на две части — западную и восточную, соединяющиеся проливом Узун-Арал, ширина которого зависит от уровня оз. Балхаш и может изменяться в пределах от 30 до 5 *км*. В юго-западной самой широкой части озера, куда впадает р. Или, воды Балхаша почти пресные; в восточной, где поверхностный приток меньше — солоноватые. Отметки дна в проливе Узун-Арал в наиболее глубоких местах равны 338,7—339,2 *м*. При понижении уровня озера ниже указанных отметок юго-западная и восточная части разоб-

щаются. Однако за период имеющихся наблюдений понижение уровня ниже отметки 340,7 *м* не наблюдалось.

В батиметрическом отношении оз. Балхаш изучено недостаточно. На современных крупномасштабных картах изобаты, как правило, не проведены. В связи с этим величины площадей поверхности и объемы для отдельных отметок уровня озера могут быть вычислены лишь ориентировочно. Кроме того, использование в прошлом нескольких систем высот, которые были пересчитаны в Балтийскую лишь в 1949 г., часто приводит к различиям в определении площадей и объемов Балхаша [16].

Уточненные морфометрические характеристики озера приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Площади и объемы оз. Балхаш**

| Отметка уровня озера, *м* | Площадь озера, *км²* | | | Объем озера, *км³* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | западная часть | восточная часть | всего | западная часть | восточная часть | всего |
| 345 | 14950 | 9450 | 24400 | 86,1 | 83,1 | 169,2 |
| 344 | 13480 | 8870 | 22050 | 71,9 | 73,9 | 145,8 |
| 343 | 12050 | 8230 | 20280 | 59,1 | 65,4 | 124,5 |
| 342 | 10630 | 7580 | 18210 | 47,77 | 57,55 | 105,32 |
| 341 | 9840 | 6810 | 18450 | 37,65 | 50,35 | 88,0 |
| 340 | 8440 | 5680 | 14120 | 28,61 | 44,11 | 72,72 |
| 339 | 7800 | 5250 | 12850 | 20,59 | 38,65 | 59,24 |
| 338 | 6550 | 4790 | 11340 | 13,51 | 33,64 | 47,15 |
| 336 | 3830 | 3970 | 7800 | 3,10 | 24,9 | 28,0 |
| 334 | 0 | 3225 | 3225 | — | 17,7 | 17,7 |
| 332 | | 2590 | 2590 | — | 11,87 | 11,87 |
| 330 | | 1750 | 1750 | — | 7,53 | 7,53 |
| 328 | | 1253 | 1253 | — | 4,80 | 4,80 |

**Колебания уровня оз. Балхаш.** Исследованию колебаний уровня оз. Балхаш в последнее время уделяется много внимания [9, 12, 13, 22]. Нами в расчетах использовались данные по уровням приведенные в справочнике по водным ресурсам [14].

Точность уровней, восстановленных Г. Р. Юнусовым с 1879 до 1934 г. очевидно невелика [12, 14]. Многолетний ход уровня оз. Балхаш за период 1879—1970 гг. показан на рис. 7. В целом для многолетнего хода уровня характерно чередование различных по продолжительности группировок низких и высоких горизонтов воды.

Приводим значение среднего уровня за различные периоды

| Период | Средний уровень, *м* абс. |
|---|---|
| 1879—1970 | 341,85 |
| 1911—1966 | 341,95 |
| 1946—1966 | 341,89 |
| 1946—1970 | 342,03 |
| 1937—1970 | 341,84 |

Продолжительные понижения или повышения уровня связаны с аномалиями водного баланса. Такие аномалии складываются под

влиянием случайных ежегодных колебаний элементов водного баланса [4]. Одновременно действует закон авторегулирования уровня и площади водоема [4, 10].

Однако можно согласиться с авторами [7, 21], что бессточные водоемы являются четкими индикаторами именно систематических изменений и долгопериодических колебаний климата. В этой связи следует отметить, что в механизме многолетних колебаний уровня оз. Балхаш наряду с активным и реактивным факторами действует промежуточный фактор — русловые процессы дельты р. Или, которые продолжительное время могут действовать односторонне.

**Современный водный баланс оз. Балхаш.** Водный баланс оз. Балхаш в естественных условиях составлялся неоднократно. Впервые приближенный баланс озера был составлен в 1936 г. [20]. Из-за отсутствия материалов наблюдений по режиму озера к тому моменту времени оценка главнейших статей баланса водоема носила явно ориентировочный характер. Позднее водный баланс оз. Балхаш рассчитывался различными научными и проектными организациями, а также отдельными учеными [5, 9, 13, 16, 23].

В работе [13] приведен анализ имеющихся к настоящему времени расчетных водных балансов оз. Балхаш и дана характеристика отдельных его составляющих. В табл. 2, форма которой заимствована из работы [13], приведены для сопоставления расчеты, в которых составляющие водного баланса вычислены с использованием современного материала по гидрометеорологии и морфометрии. Ниже приводится в основном анализ проработок Гидропроекта по расчетам водного баланса озера. Указанные проработки были положены в основу при оценке влияния Капчагайской ГЭС на режим Балхаша.

Уравнение водного баланса оз. Балхаш для многолетнего периода может быть представлено в следующем виде:

$$W_{\text{пов}} + W_{\text{подз}} + W_{\text{ос}} = W_{\text{ис}}, \qquad (1)$$

где $W_{\text{пов.}}$ — объем поверхностного притока, $км^3$; $W_{\text{подз.}}$ — объем подземного притока; $W_{\text{ос}}$ — объем осадков, выпадающих на поверхность озера; $W_{\text{ис.}}$ — объем испарения с поверхности озера. Для годового интервала в уравнение включается величина $\pm\Delta W$, отражающая изменение запаса воды в озере.

Анализ расчетных периодов, положенных в основу расчетов водного баланса, показывает, что Гидропроектом был принят период с 1934 по 1956 гг., включающий лишь один минимум уровня озера (1946 г.) и ни одного максимума, т. е. период, охватывающий преимущественно фазу спада уровней. Репрезентативность этого периода проверялась по среднемноголетнему стоку р. Или, который за 1911—1956 гг. и 1934—1956 гг. мало отличался. Такая оценка репрезентативности периода без учета циклических колебаний уровней озера и других составляющих водного баланса является неточной. Казгидропроектом (1964 г.) расчетный период получен простым удлинением ряда до 1958 г. и опять же с проверкой

Результаты определения составляющих водного

| № п/п | Автор, год | Расчетный период | Отметки уровня, *м* абс. | Площадь, *км*² |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Тарасов М. Н., 1961 . . . . | 1935—1954 | 341,3 | 15500 |
| 2 | Гидропроект, 1958 . . . . . | 1931—1956 | 341,35 | 17150 |
| 3 | Казгидропроект, 1964 . . . . | 1934—1958 | 341,4 | 17350 |
| 4 | ГГИ, 1967 . . . . . | 1911—1946 | 342,0 | 18300 |
| 5 | Искендиров Т., 1968 . . . . . | 1934—1965 | 341,7 | 17806 |
| 6 | Кудрин Р. Д., 1969 . . . . . | 1946—1966 | 341,9 | 18000 |
| 7 | Казгидропроект, 1969 . . . . | 1911—1966 | 341,95 | 18220 |

* Приращение объема озера за период 1934—1965 гг. составило 0,71 *км*³.

репрезентативности по стоку р. Или без учета соотношения фаз колебания уровня озера. При расчете водного баланса, выполненного Казгидропроектом в 1969 г., использован период с 1911 по 1966 г., включающий фазу спада, фазу стабилизации уровня на низких отметках, фазу подъема и фазу стабилизации уровня на высоких отметках. Результаты расчетов водного баланса за другие периоды приведены в табл. 5.

Одним из недостатков расчетного интервала 1911—1966 гг. является отсутствие ежегодных надежных данных по уровню озера периода с 1911 по 1933 г., хотя в отдельные годы производилась инструментальная привязка уровня к опорным реперам. Эти данные дают возможность контролировать правильность восстановленного хода уровней.

Отсутствующие данные наблюдений по притоку в Восточный Балхаш за период 1911—1934 гг. и осадки на поверхность озера восстановлены с достаточной для практических целей точностью.

**Поверхностный приток** ($W_{пов.}$) к озеру складывается из стока р. Или и стока рек в восточную часть озера за вычетом потерь в дельтах рек. По разным оценкам (табл. 2) за счет различий в расчетных периодах и определении потерь в дельте р. Или поверхностный приток в оз. Балхаш составляет 13,53—14,90 *км*³. Некоторое различие в величинах поверхностного притока (по расчетам Казгидропроекта, 1964 и 1969 гг.) объясняется разной продолжительностью расчетных периодов и различной оценкой потерь в дельте р. Или, а также некоторыми уточнениями поверхностного притока в восточную часть озера.

Сток р. Или в вершине дельты оценивается достаточно точно (погрешности в пределах ошибок измерения расхода воды) путем переноса многолетнего ряда (1911—1969 гг.) наблюдений из створа урочище Капчагай в вершину дельты (6-й Рыбпункт). За параллельный период наблюдений в урочище Капчагай и 6-м Рыбпункте правомерность такого переноса не вызывает сомнений.

На способе оценки потерь стока р. Или в дельте следует остановиться особо. До настоящего времени природа потерь (как и их

*Таблица 2*

**баланса оз. Балхаш различными авторами**

| Поверхностный приток, км³ | Подземный приток, км³ | Атмосферные осадки | | Приход | | Испарение | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мм | км³ | мм | км³ | мм | км³ |
| 13,53 | 0,27 | 110 | 1,70 | 1001 | 15,50 | 930 | 14,40 |
| 14,58 | 0,27 | 110 | 1,89 | 976 | 16,74 | 1000 | 17,15 |
| 14,15 | 0,27 | 132 | 2,30 | 956 | 16,72 | 920 | 15,92 |
| 14,80 | 1,10 | 128 | 2,30 | 1013 | 18,50 | 1013 | 18,50 |
| 14,90 | 0,27 | 190 | 3,38 | 1041 | 18,55 | 1002 | 17,84* |
| 14,70 | 0,80 | 152 | 2,74 | 1012 | 18,24 | 1000 | 18,00 |
| 14,88 | 0,80 | 154 | 2,81 | 1015 | 18,49 | 1020 | 18,59 |

величина) в дельте р. Или изучена еще недостаточно. В разветвленной сети проток, обширных озерных водоемах и понижениях, заросших тростником, заполняющихся в период весенне-летнего половодья, происходит интенсивное расходование воды на транспирацию растительностью, испарение. Фильтрацию и питание грунтовых вод. Приток речных вод р. Или к дельте определяет ее режим увлажненности: от водности года и характера половодья зависит площадь затоплений межрусловых понижений, уровень и площадь водного зеркала озер, уровни грунтовых вод, а также интенсивность развития влаголюбивой растительности и площадь ее распространения. Таким образом, приток к дельте в значительной мере определяет величину потерь.

Естественными в этом случае являются попытки отыскания зависимости потерь в дельте от притока. В настоящее время наиболее достоверными являются зависимости потерь в дельте $W_{пот.}$ от величины притока в вершине дельты $W_{пр.\ Или}$, полученные путем использования гидрометрических измерений. Параллельные наблюдения за стоком в вершине дельты и ее нижней части (при выходе протока в озеро) проводились Гидропроектом в 1957—1960 гг. и Казгидропроектом и УГМС КазССР в 1968—1971 гг.

На рис. 1 показаны связи среднемесячных расходов воды в вершине и нижней части дельты за период наблюдений. Петлеобразная форма связей обусловлена аккумуляцией стока в период подъема весенне-летнего половодья, последующим уменьшением аккумуляции и ее отсутствием при заполении понижений и озер, а также частичным возвратом воды на спаде половодья и в период межени.

Можно заметить, что аккумулирующее действие дельты проявляется в многоводные годы больше, чем в маловодные, когда волна половодья проходит по руслам проток верхней и средней дельты практическим не изменяясь и распластывается лишь при проходе через озера и заболоченные, заросшие тростником, территории нижней части дельты. В связи с этим в многоводные годы

(1958—1959 и 1969 гг.) различия зависимостей $W_{пр.оз} = f(W_{пр.\,или})$ для спада и подъема больше, чем в маловодные годы (1957 и 1968 гг.) Наиболее четко трансформация стока в дельте прослеживается при сравнении входного и выходного гидрографов, как это показано в работе [13] по данным Гидропроекта.

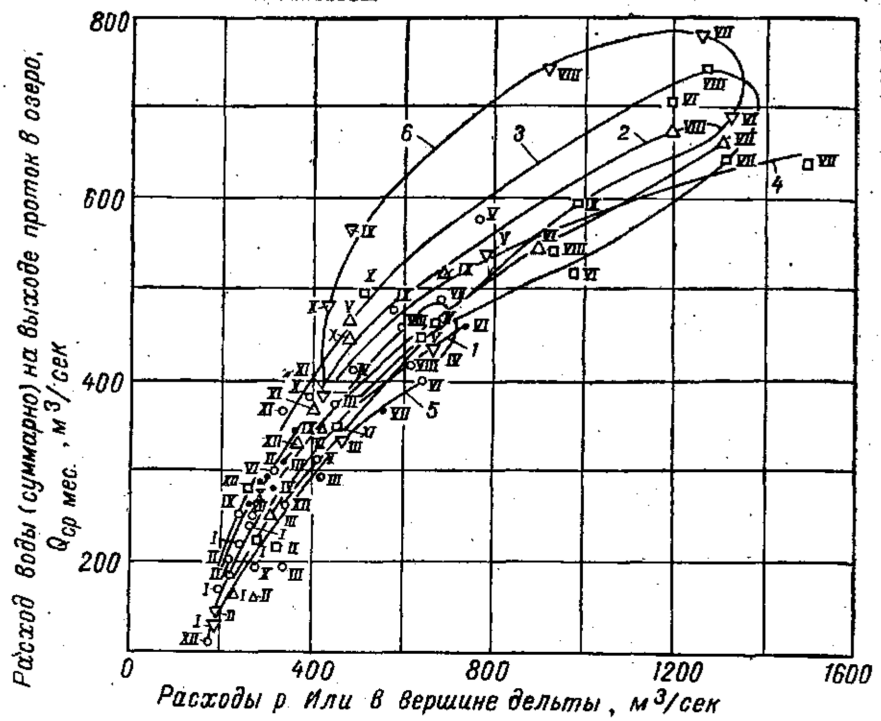



Рис. 1. Графики связи среднемесячных расходов воды в вершине дельты и на выходе проток в оз. Балхаш:
*1* — 1957; *2* — 1958; *3* — 1959; *4* — 1960; *5* — 1968; *6* — 1969 гг.

Полученные новые результаты измерений за 1968 (маловодный) и 1969 (многоводный) годы подтвердили, что характер изменений гидрографа в дельте в большей степени зависит от водности года и характера половодья. В 1968 г. половодье в нижней части дельты сохранило многовершинный характер, типичный для вершины дельты, причем время добегания от урочища Капчагай до оз. Балхаш не превышало 10—15 дней. В 1969 г. волна половодья на суммарном гидрографе проток в нижней дельте имеет весьма плавный подъем и спад и с трудом можно найти соответственные точки входного и выходного гидрографов; время добегания значительно увеличилось.

Используя материалы наблюдений, можно построить график связи потерь в дельте с притоком к ее вершине (рис. 2). Как видно из этого графика, петлеобразная форма связей здесь сохраняется, хотя и выражена менее четко. Графиком (рис. 2 *а*) ввиду его кри-

волинейности можно пользоваться при определении потерь по месяцам с последующим суммированием и вычислением годового объема потерь. Правильно было бы при этом использовать две ветви графика для периода май — июль и август — октябрь рис. 2*а*, *б*. Однако в связи с большим разбросом точек, обусловленным неточностью измерений и подсчетов стока, можно только с достаточной степенью точности пользоваться кривой, занимающей среднее положение. Непосредственно для определения годовых потерь в дельте построен график зависимости годовых потерь от годовых значений притока к вершине дельты (рис. 2 *в*).

Необходимо отметить, что потери, определенные с помощью гидрометрических измерений, как правило, завышены по сравнению с фактическими. Это связано с недоучетом в нижней части дельты стока через заросли тростника. На графике (рис. 1) можно условно наметить какой-то предел пропускной способности русел

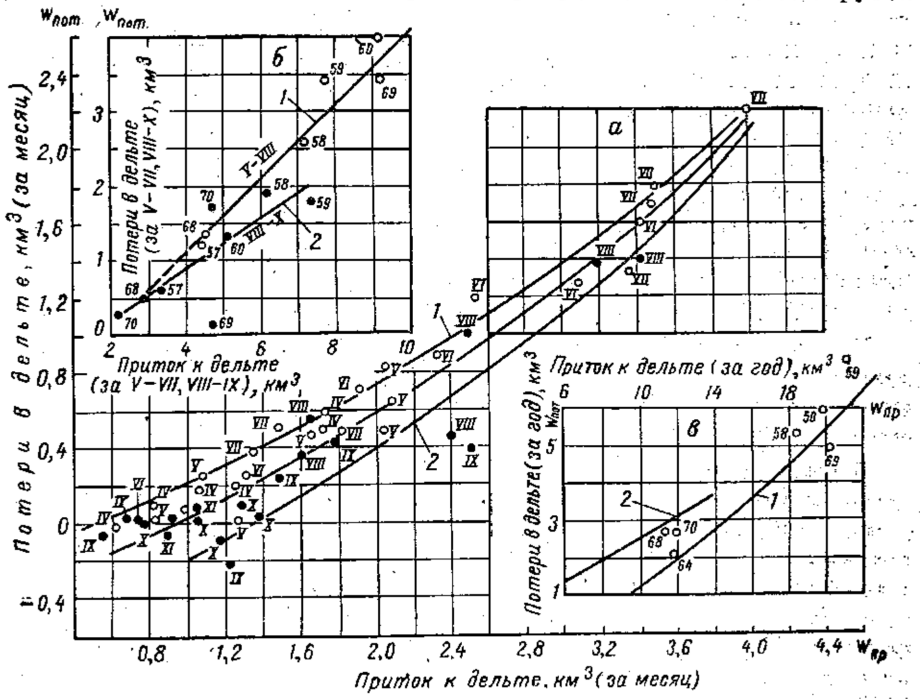



Рис. 2. Связь потерь стока в дельте р. Или и ее стока в вершине дельты за период 1957—60, 1968—70 гг.:

а) связь месячных величин потерь и стока: *1* — период V, VI, VII; 2 — период VIII, IX, X; б) связь сезонных величин потерь и стока: *1*—период V—VII; *2*—период VIII—X; в) связь годовых потерь и стока: *1* — в естественных условиях; *2* — в условиях регулирования стока

проток при одних и тех же повышенных расходах в вершине дельты на спаде половодья. Однако в условиях динамики дельты [18, 19] этот предел, очевидно, возрастает при развитии ее русловой фазы, которой примерно соответствует положение петлеобразной кривой связи притока к дельте и стока в озеро за 1969 г. За прош-

лые многоводные годы (1959, 1960 гг.) этот предел пропускной способности был ниже. В связи с этим сток через тростник в указанные годы, по-видимому, был несколько выше. Наиболее достоверные материалы для определения потерь стока в дельте получены в маловодные (1957, 1968) годы, когда при низком русловом стоке и низких уровня оз. Балхаш (1957 г.) хорошо выражены выходы проток в озеро. Завышение потерь особенно велико в многоводные годы при высоком стоянии уровней Балхаша, когда в протоках наблюдается подпор со стороны озера. В эти годы увеличивается сток через тростник, что естественно отражается на точности гидрометрических измерений стока и дельты. По данным Р. Д. Курдина [13] величина потерь, определенная по гидрометрическим данным, должна быть уменьшена на 10—15% от величины руслового стока. Достаточного обоснования этой рекомендации в настоящее время нет. При построении зависимости годовых потерь от притока к вершине дельты значения, вычисленные по измерениям в многоводные годы, мы уменьшили на 20%. Справедливо следует отметить, что достоверность такой поправки оценить невозможно. Кроме недоучета стока через тростник, необходимо также учитывать, что потери, определенные по гидрометрическим данным, не всегда являются безвозвратными, так как часть стока в дельте расходуется на пополнение запаса грунтовых вод. Кроме того, аккумуляция стока в дельте в текущем году может существенно сказаться на величине потерь будущего года. Так, практически при одинаковой величине поступления стока к вершине дельты потери в 1960 г. были меньше, чем в 1959 г.

На современной стадии изученности потерь в дельте можно при воднобалансовых расчетах приток по р. Или к оз. Балхаш вычислять по притоку к вершине дельты за вычетом потерь, определенных по графику, показанному на рис. 2 *в*.

Весьма условным является определение потерь по указанному графику для периода, не имеющего параллельных наблюдений за стоком в вершине и устьевых протоках дельты. Это связано с тем, что до начала 50-х годов, когда формировалась современная гидрографическая сеть дельты р. Или, распределение стока по системам проток и морфометрические характеристики русел были другими. Поэтому величина потерь и их распределение по системам проток дельты естественно отличались от их значений в 1957—1969 гг. Однако, как показывает анализ, уже за период с 1957 г. наметились изменения в гидрографической сети дельты [19]. График потерь (рис. 2) отражает переходную фазу развития дельты, т. е. условно соответствует какому-то низкому уровню потерь. Качественная оценка динамики потерь в дельте за многолетний период сделана путем сравнения годовых объемов стока в вершине дельты и годовых объемов воды, поступивших в озеро, и, определенных как остаточный член водного баланса. При этом значение испарения вычислено по одной из эмпирических формул. Показательно, что потери в дельте в целом постепенно уменьшаются к концу периода 1911—1970 гг. (рис. 3). Ориентировочно можно вы-

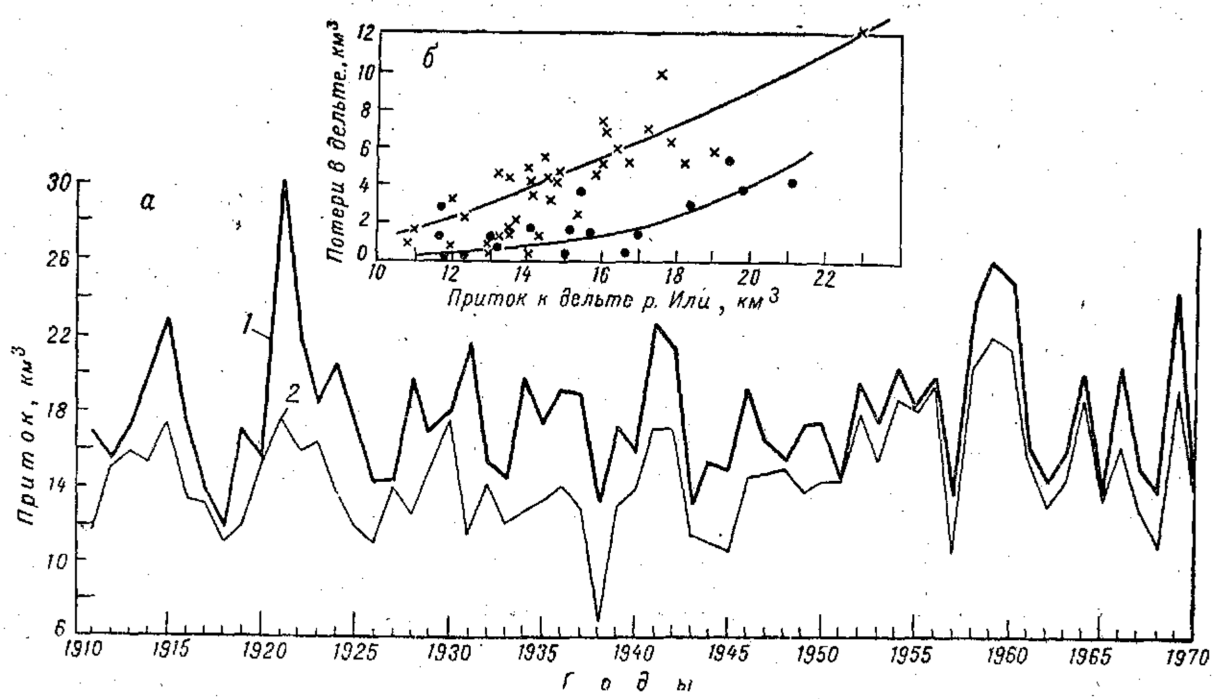



Рис. 3. Сопоставление фактических годовых величин притока к дельтам рек и вычисленных по водному балансу величин притока к озеру за период 1911—1966 гг.:

а) колебания годовых величин притока к дельтам рек и озеру: *1* — фактические величины притока к дельтам рек, *2* — вычисленные по водному балансу величины притока к озеру; б) связь условных потерь в дельтах рек с притоком к вершине дельты р. Или: *3* — период 1911—1950 гг. *4* — период 1951—1966 гг.

*Таблица 3*

**Результаты расчета потерь в дельте р. Или**

| Год | Тростники на переувлажненном грунте | | | Водная поверхность | | | Потери в дельте, $км^3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | площадь, $км^2$ | суммарное испарение | | площадь, $км^2$ | испарение | | расчет по испарению и транспирации | расчет по графику связи потерь и притока к вершине дельты |
| | | мм | $км^3$ | | мм | $км^3$ | | |
| 1937 | 1730 | 1470 | 2,54 | 800 | 969 | 0,78 | 3,3 | 3,7 |
| 1938 | 1730 | 1498 | 2,59 | 800 | 996 | 0,80 | 3,4 | 1,9 |
| 1939 | 1730 | 1676 | 2,91 | 800 | 990 | 0,79 | 3,7 | 3,1 |
| 1940 | 1730 | 1728 | 2,99 | 800 | 1030 | 0,82 | 3,8 | 2,6 |
| 1941 | 1730 | 1665 | 2,88 | 800 | 1042 | 0,83 | 3,7 | 5,0 |
| 1942 | 1730 | 1490 | 2,57 | 800 | 931 | 0,74 | 3,3 | 4,3 |
| 1943 | 1730 | 1545 | 2,67 | 800 | 949 | 0,76 | 3,4 | 1,7 |
| 1944 | 1730 | 1655 | 2,86 | 800 | 988 | 0,79 | 3,6 | 2,6 |
| 1945 | 1730 | 1731 | 3,00 | 800 | 1050 | 0,83 | 3,8 | 2,5 |
| 1946 | 1730 | 1372 | 2,38 | 800 | 910 | 0,73 | 3,1 | 3,4 |
| 1947 | 1730 | 1196 | 2,07 | 800 | 901 | 0,72 | 2,8 | 2,6 |
| 1948 | 1730 | 1667 | 2,88 | 800 | 1001 | 0,80 | 3,7 | 2,4 |
| 1949 | 1730 | 1458 | 2,52 | 800 | 913 | 0,73 | 3,2 | 2,8 |
| 1950 | 1730 | 1660 | 2,88 | 800 | 981 | 0,78 | 3,7 | 3,0 |
| 1951 | 1730 | 1678 | 2,88 | 800 | 1014 | 0,81 | 3,7 | 2,1 |
| 1952 | 1800 | 1582 | 2,85 | 800 | 964 | 0,77 | 3,6 | 3,2 |
| 1953 | 1890 | 1624 | 3,07 | 680 | 986 | 0,79 | 3,9 | 2,8 |
| 1954 | 1990 | 925 | 1,84 | 680 | 888 | 0,60 | 2,4 | 4,0 |
| 1955 | 2080 | 1748 | 3,64 | 680 | 1029 | 0,70 | 4,3 | 3,1 |
| 1956 | 1980 | 1706 | 3,38 | 680 | 996 | 0,68 | 4,1 | 3,8 |
| 1957 | 1880 | 1432 | 2,68 | 680 | 944 | 0,64 | 3,3 | 2,0 |
| 1958 | 1780 | 1021 | 1,82 | 680 | 847 | 0,58 | 2,4 | 4,6 |
| 1959 | 1670 | 1286 | 2,15 | 680 | 951 | 0,65 | 2,8 | 6,1 |
| 1960 | 1570 | 1109 | 1,64 | 680 | 847 | 0,58 | 2,2 | 5,4 |
| 1961 | 1460 | 1501 | 2,19 | 680 | 954 | 0,65 | 2,8 | 2,5 |
| 1962 | 1360 | 1554 | 2,11 | 680 | 941 | 0,64 | 2,7 | 2,0 |
| 1963 | 1350 | 1434 | 1,94 | 680 | 915 | 0,62 | 2,5 | 2,4 |
| 1964 | 1300 | 1249 | 1,62 | 680 | 882 | 0,60 | 2,2 | 3,4 |
| 1965 | 1300 | 1595 | 2,07 | 680 | 978 | 0,66 | 2,7 | 2,0 |
| 1966 | 1300 | 1355 | 1,76 | 680 | 920 | 0,62 | 2,4 | 3,2 |
| 1967 | 1300 | 1294 | 1,68 | 680 | 876 | 0,60 | 2,3 | 2,1 |
| 1968 | 1300 | 1359 | 1,78 | 680 | 892 | 0,61 | 2,4 | 1,8 |
| 1969 | 1300 | 1267 | 1,65 | 680 | 854 | 0,58 | 2,2 | 5,0 |
| 1970 | 1300 | 1184 | 1,54 | 680 | 881 | 0,60 | 2,1 | 2,0 |
| Среднее 1937—1950 гг. | | 1560 | | | 975 | | 3,5 | 3,0 |
| Среднее 1951—1970 гг. | | 1390 | | | 930 | | 2,9 | 3,2 |
| Среднее 1937—1970 гг. | | 1460 | | | 946 | | 3,1 | 3,1 |

делить период 1911—1950 гг. с повышенными потерями, 1950—1970 гг. — с пониженными потерями.

Одним из приемов определения потерь в дельте является составление подробного водного баланса дельты. Такой водный баланс был составлен Т. М. Гельбух [6], однако, к настоящему времени исходные данные, положенные в основу расчетов, требуют значительной корректировки. Нами сделана попытка в первом

приближении оценить суммарные потери в дельте на испарение и транспирацию, учитывая данные наблюдений института ботаники АН КазССР в 1968—1969 гг. и результаты наблюдений, полученные Ленгидэпом в 1953—1955 гг. и БРИС ГГИ в 1957—1959 гг. Эти оценки имеют весьма ориентировочный и условный характер ввиду отсутствия надежных картографических материалов, отражающих различные стадии развития дельты и, следовательно, различное распределение увлажненных угодий в ее пределах в различные периоды и в разные по водности годы. Полученные данные (табл. 3) показывают, что величины суммарных потерь на испарение и транспирацию уменьшаются наиболее интенсивно начиная с 1950 г. Так, средний слой суммарного испарения с угодий, покрытых тростником, за период с 1951 по 1970 г. составил 1390 *мм*, а за многолетний период 1937—1970 гг. — 1460 *мм*. Этот вывод подтверждает результаты оценки общей динамики потерь в дельте, полученные выше.

В водном балансе оз. Балхаш потери в дельте р. Или можно рассматривать как расходный элемент баланса, принимая поверхностный приток в Западный Балхаш по стоку р. Или в вершине дельты. Влияние этого элемента на колебание уровней озера может существенно отразиться при однонаправленных изменениях климатической обстановки и русловых процессов, ведущих к уменьшению или увеличению потерь. Как показано Р. М. Хайдаровым [19], колебания потерь за многолетний период только за счет динамики русловых процессов в дельте могли достигать 7 *км*$^3$.

Уменьшение и увеличение потерь на такую величину, а следовательно, и поступления воды в оз. Балхаш, может привести к понижению или повышению уровня озера примерно на 0,4 *м* в год. Продолжительный период повышенных или пониженных потерь приведет к более существенным изменениям уровня озера.

Поверхностный приток в Восточный Балхаш при расчетах водного баланса Казгидропроектом (1969 г.) уточнен за счет удлинения ряда наблюдений, путем восстановления величин стока рек Каратал, Аксу, Лепсы и учета стока р. Аягуз. Потери в дельтах рек Каратал, Аксу, Лепсы ввиду их незначительной величины не учитывались при выполнении расчетов.

**Подземный приток.** Подземный приток является одной из наиболее сложных и наименее определенных статей водного баланса. В приведенных ниже расчетах водного баланса озера величина подземного притока принята по данным Института гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР. В результате дополнительных проработок этим институтом определена величина подземного притока в Балхаш в размере 0,8 *км*$^3$ в год [3]. Однако следует отметить, что предлагаемые авторами [3] расчеты требуют значительных уточнений. Это замечание относится прежде всего к расчету подземного притока по гидрологическим данным, сопоставление результатов которого с данными, полученными гидрогеологическим методом, показало хорошую сходимость и дало возможность авторам расчета подчеркнуть достоверность вычисленной величины подземного притока.

Однако расчет по гидрологическим данным выполнен путем использования устаревших морфометрических характеристик, заимствованных из работы [16], и неувязанных данных по изменению уровней. Нами был выполнен расчет по гидрологическим данным с учетом современных данных о размерах водной поверхности озера, и уровнях, надежность которых после 1950 г. повысилась.

Кроме того, были уточнены величины зимнего поверхностного притока, снегонакопления и запасов влаги в снеге, потерь на испарение с поверхности снега и льда. В результате расчетов получена средняя многолетняя величина подземной составляющей в виде оттока из озера в размере 0,24 *км*$^3$ в год. Следовательно, прием расчета подземной составляющей по гидрологическим данным не служит подтверждением результатов, полученных гидрогеологическим расчетом, и требуются дополнительные исследования и расчеты для определения подземного притока.

Одновременно необходимо проведение исследований возможности оттока воды из оз. Балхаш подземным путем. М. А. Погребинский [8], используя карту гидроизогипс, построенную по данным ограниченных наблюдений, отмечал, что в районе древней дельты р. Или (русла Орта и Чет-Баканасы) возможно направление движения подземных вод как со стороны дельты, так и со стороны оз. Балхаш. Таким образом, высказывалось предположение об отсутствии подземного стока в озеро и о наличие оттока из него в бессточный грунтовый бассейн, расходующий воду за счет вертикальных форм водообмена, основными их которых являются испарение и транспирация.

Однако недостаточная обоснованность достоверными данными при необычности явления делали высказанную гипотезу уязвимой для критических замечаний со стороны специалистов гидрогеологов.

Казгидропроектом в 1971 г. проведены подготовительные работы для организации режимных наблюдений за уровнем подземных вод в этом районе. При бурении скважин по одному поперечнику удалось установить наличие низких (на 9,6 *м* ниже современного уровня озера) уровней подземных вод, примерно в 22 *км* от побережья оз. Балхаш. Предварительные сугубо ориентировочные расчеты показывают, что при коэффициентах фильтрации 3,0—3,5 *мм/сутки,* которые здесь наблюдаются, общая величина оттока из озера в годовом разрезе составит незначительную величину (не более 0,01 *км*$^3$).

В настоящее время необходима также оценка возможных потерь грунтовых вод за счет испарения. Вблизи береговой линии озера грунтовый поток, направленный к нему в силу изменения гидродинамических условий испытывает подпор, близко подходит к поверхности, рассеивается. При этом резко увеличивается доля потерь за счет расходования грунтовых вод на испарение и транспирацию. Восполнение же запасов грунтовых вод вблизи озера, очевидно, быстрее происходит за счет озера. Если принять, что в прибрежной полосе шириной 10—15 *км* и длиной 200 *км* минимальный слой

«видимого» испарения (испарение минус осадки) составит 500 *мм*, то потери грунтовых вод, восполняющиеся за счет озера, т. е. потери воды из оз. Балхаш, увеличивающиеся при нагонных явлениях, составят около 1,5 *км*$^3$ Эта величина в два раза превышает подземный приток.

В воднобалансовых расчетах определение сравнительно малой величины подземного притока как остаточного члена водного баланса, при низкой точности определения других составляющих, может привести к существенным погрешностям. Поэтому представляется правильным предложение, изложенное в статье В. В. Голубцова и О. А. Морозовой [24], рассматривать сочетания нескольких элементов водного баланса: испарение, подземный приток, потери. При таком подходе можно достаточно надежно оценить тенденцию изменений одного из элементов водного баланса.

**Осадки.** Величина атмосферных осадков, выпадающих на акваторию озера, определяется по данным наблюдений на метеостанциях района озера. В среднемноголетнюю величину осадков, рассчитанную в 1969 г., введены поправки на недоучет осадков приборами согласно методическим рекомендациям ГГО и ГГИ. За период с 1911 по 1934 гг. осадки восстановлены по достаточно надежным связям осадков в районе озера с осадками по метеостанции Алма-Ата. Величины среднемноголетних осадков за различные расчетные периода 1934—1958 гг. и 1911—1966 гг. составляют соответственно 132 и 154 *мм*.

**Испарение.** Испарение с поверхности озера является основным членом уравнения водного баланса бессточного озера, составляющим почти 100% расходной части баланса.

Среднемноголетняя величина испарения с поверхности оз. Балхаш за период 1934—1956 гг. Гидропроектом в 1958 г. получена 1000 *мм*. Казгидропроектом за 1934—1958 гг. — 920 *мм* и Казгидпроектом (1969 г.) за 1911—1966 гг. — 1020 *мм*.

В материалах Гидропроекта (1958 г.) испарение 1000 *мм* вычислено по формуле Крицкого, Менкеля и Россинского, причем рассчитанная величина составила 1103 *мм* и из соображений, что формула дает преувеличенное значение и спарения для такого большого водоема как оз. Балхаш (с учетом солености воды), эта величина уменьшена на 10%. Однако, как показали исследования [11], указанная формула дает, как правило, занижение испарения из-за недоучета скорости ветра, влияния которого существенно преуменьшено. А та степень минерализации воды, которая имеется в Балхаше, не сказывается на величине испарения. Таким образом, величина испарения 1000 *мм* представляется недостаточно обоснованной, хотя и близка к расчетной величине 1020 *мм*, полученной в 1969 г. Для расчетного периода 1934—1955 гг., охватывающего фазу низкого стояния уровней воды, величина испарения должна быть выше. Испарение за этот период, полученное как остаточный член баланса (при $W_{\text{подз.}} = 0{,}8$ *км*$^3$), составляет 1044 *мм*.

Испарение в расчетах 1964 г. определено как остаточный член уравнения водного баланса. Сравнительно низкая величина испа-

рения в этом случае объясняется некоторым занижением суммарного поверхностного притока за счет преувеличения потерь в дельте р. Или. Кроме того, на величину испарения, определенную в 1964 г. сказался принятый в то время расчетный период (1934—1958 гг.), который не является репрезентативным для расчета испарения, так как включает только часть фазы спада и почти всю фазу подъема уровней. Естественно, в такой период испарение должно быть ниже нормы. Величина испарения, полученная в 1969 г., относится к периоду 1911—1966 г., который является репрезентативным для расчета средних многолетних элементов водного баланса.

Однако следует указать, что точность испарения, полученного по уравнению водного баланса, зависит от точности оценок речного стока, потерь в дельте р. Или, подземного стока и не превышает 8—10% [9, 13]. За период 1937—1970 гг. (период наличия данных по отдельным метеоэлементам в районе озера) нами были проведены расчеты испарения по методике, рекомендуемой Указаниями по расчету испарения с водной поверхности (ГГИ, 1969 г.). Расчеты, кроме ручного счета, были выполнены на ЭВЦМ «Минск-22» по программе, разработанной в Казгидропроекте Ж. А. Рубцовой.

В основу методики положена эмпирическая зависимость испарения от разности упругости водяного пара и «ветрового» фактора. Исследования [11] показали, что применяемая ранее формула Зайкова дает для южных районов завышение, а формула Браславского и Викулиной занижает испарение. Рекомендуемые в последнее время различными авторами (А. Р. Константинов, В. С. Голубев, А. П. Браславский и С. Н. Нургалиев) формулы, учитывающие разность температур вода — воздух, пока не нашли широкого практического применения.

Результаты расчетов испарения с поверхности озера приведены в табл. 4. За период ледостава испарение с поверхности снега и льда определялось по рекомендуемой В. А. Семеновым формуле в зависимости от дефицита влажности воздуха [15]. Среднемноголетняя величина испарения с поверхности снега и льда составила 40 *мм*. Учитывая пониженную точность определения испарения со снега и льда за отдельные зимние периоды, величина 40 *мм* принята для всех лет постоянной. Сопоставление результатов расчетов испарения по методике Указаний и испарения, вычисленного по балансу водоема, показало хорошую сходимость (табл. 4).

Изменение величины испарения (рассчитанного по формуле) четко соответствует многолетнему ходу метеоэлементов. За рассматриваемый период 1937—1970 гг. выделяются два характерных интервала — засушливый 1937—1957 гг. и влажный — 1958—1970 гг. Такое деление подтверждается ходом элементов, обусловливающих засушливость климата: температуры и дефицита влажности за вегетационный период, годовыми суммами осадков. Дополнительным абсолютным критерием засушливости климата могут служить числа дней с атмосферными засухами, которые рассчитаны по методике А. С. Утешева [17]. Построенные зависимости вычис-

*Таблица 4*

**Результаты расчета испарения с поверхности оз. Балхаш**

| Год | Испарение, вычисленное по формуле Указаний, *мм* | | | Испарение (*мм*), вычисленное как остаточный член водного баланса (все озеро), |
|---|---|---|---|---|
| | Западный Балхаш | Восточный Балхаш | все* озеро | |
| 1937 | 873 | 845 | 901 | 1075 |
| 1938 | 995 | 921 | 1004 | 1297 |
| 1939 | 900 | 929 | 951 | 1059 |
| 1940 | 974 | 892 | 979 | 999 |
| 1941 | 998 | 879 | 988 | 1066 |
| 1942 | 1009 | 849 | 982 | 952 |
| 1943 | 1031 | 880 | 1008 | 1023 |
| 1944 | 1138 | 939 | 1094 | 1212 |
| 1945 | 1049 | 899 | 1026 | 1161 |
| 1946 | 902 | 789 | 896 | 1008 |
| 1947 | 973 | 889 | 977 | 982 |
| 1948 | 1086 | 934 | 1063 | 1012 |
| 1949 | 932 | 838 | 933 | 1082 |
| 1950 | 1048 | 873 | 1017 | 1034 |
| 1951 | 1194 | 901 | 1113 | 1007 |
| 1952 | 1202 | 910 | 1121 | 1044 |
| 1953 | 1025 | 854 | 993 | 943 |
| 1954 | 904 | 805 | 902 | 773 |
| 1955 | 1100 | 788 | 1010 | 840 |
| 1956 | 1092 | 903 | 1054 | 895 |
| 1957 | 1073 | 857 | 1023 | 1052 |
| 1958 | 910 | 725 | 873 | 802 |
| 1959 | 947 | 802 | 928 | 850 |
| 1960 | 952 | 721 | 898 | 846 |
| 1961 | 1074 | 866 | 1030 | 964 |
| 1962 | 1101 | 806 | 1021 | 1009 |
| 1963 | 1033 | 807 | 980 | 951 |
| 1964 | 963 | 748 | 916 | 843 |
| 1965 | 1108 | 840 | 1036 | 971 |
| 1966 | 1011 | 749 | 943 | 999 |
| 1967 | 917 | 673 | 858 | 901 |
| 1968 | 897 | 795 | 883 | 992 |
| 1969 | 886 | 638 | 825 | 861 |
| 1970 | 1021 | 800 | 972 | 967 |
| Среднее . . . . | — | — | 977 | 978 |

* Включено испарение 40 *мм* за период ледостава.

ленного испарения и числа дней с атмосферными засухами в районе оз. Балхаш имеют сравнительно высокий коэффициент корреляции 0,82—0,84, отражающий тесноту связей. Разностные интегральные кривые испарения и числа дней с атмосферными засухами отличаются выраженной синхронностью колебаний этих элементов.

С учетом полученных зависимостей можно отметить тенденцию к снижению величины испарения в последнее десятилетие. Несомненно, что это сказалось также на уменьшении потерь стока в дельте на суммарное испарение, а совместное влияние этих факто-

*Таблица 5*

**Результаты расчетов составляющих водного баланса (*мм*/*км*²) за различные периоды**

| | $\frac{F_{ср}^{*} = 18\,220\ км^2,}{H_{ср}^{**} = 341{,}95\ м\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 17\,004\ км^2,}{H_{ср} = 341{,}21\ м,\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 18\,136\ км^2,}{H_{ср} = 341{,}90\ м\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 19\,925\ км^2,}{H_{ср} = 342{,}83\ м\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 18\,046\ км^2,}{H_{ср} = 341{,}84\ м,\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 18\,046\ км^2,}{H_{ср} = 341{,}84\ м\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 18\,136\ км^2,}{H_{ср} = 341{,}89\ м\ абс.}$ | $\frac{F_{ср} = 18\,381\ км^2,}{H_{ср} = 342{,}03\ м\ абс.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1911—1966 | 1934—1955 | 1946—1966 | 1960—1966 | 1937—1970 | 1937—1970 | 1946—1966 | 1946—1970 |
| Поверхностный приток . . . | 817 / 14,88 | 862 / 14,66 | 840 / 15,23 | 724 / 14,42 | 810 / 14,62 | 810 / 14,62 | 825 / 14,96 | 808 / 14,85 |
| Подземный приток . . . . . | 44 / 0,80 | 47 / 0,80 | 44 / 0,80 | 40 / 0,80 | 44 / 0,80 | 44 / 0,80 | 44 / 0,80 | 43 / 0,80 |
| Атмосферные осадки . . . . | 154 / 2,81 | 150 / 2,55 | 166 / 3,01 | 175 / 3,49 | 157 / 2,83 | 157 / 2,83 | 166 / 3,01 | 165 / 3,03 |
| Всего . . . . . | 1015 / 18,49 | 1059 / 18,01 | 1050 / 19,04 | 939 / 18,71 | 1011 / 18,25 | 1011 / 18,25 | 1035 / 18,77 | 1016 / 18,68 |
| Испарение . . . . . | 1044 / 18,59 | 1044 / 17,75 | 956 / 17,34 | 928 / 18,49 | 978 / 17,65 | 977*** / 17,63 | 986*** / 17,88 | 970*** / 17,83 |
| Приращение объема . . . . | —5 / —0,096 | 15 / 0,26 | 94 / 1,70 | 11 / 0,22 | 33 / 0,60 | 33 / 0,60 | 94 / 1,70 | 75 / 1,38 |
| Всего . . . . . | 1015 / 18,49 | 1059 / 18,01 | 1050 / 19,04 | 939 / 18,71 | 1011 / 18,25 | 1010 / 18,23 | 1080 / 19,58 | 1045 / 19,21 |

* $F$ — средняя площадь.
** $H$ — средний уровень.
*** Испарение вычислено по формуле Указаний

ров, включая русловые процессы в дельте (при поверхностном притоке 1937—1969 гг., близком к среднему), очевидно, выразилось в подъеме уровней оз. Балхаша и стабилизации их на высоких отметках.

Следует отметить, что расчеты испарения с водной поверхности по формуле Зайкова, выполненные Курдиным [13] за период 1960—1966 гг., дают исключительно высокие величины испарения, что никак не вяжется с общим ходом изменения метеоэлементов. Очевидно, отсюда и возникла большая (3,7 $км^3$) невязка водного баланса за короткий период.

**Водный баланс оз. Балхаш в естественных условиях.** Установленные выше значения элементов водного баланса для различных периодов приведены в табл. 5. Наиболее обоснованным следует считать период 1911—1966 гг., внутри которого периоды высокого и низкого стояния уровня озера взаимно уравновешены. Элементы водного баланса, вычисленные за этот период, близки к своим средним значениям. Подробная характеристика периода 1911—1966 гг. дана выше. Другим периодом, который может быть рассмотрен с точки зрения обеспеченности данными наблюдений по всем элементам, определяющим водный баланс, являются многолетние 1937—1970 гг. Этот период включает непродолжительную фазу спада и стабилизации уровня на низких отметках, фазу подъема уровня и его стабилизации на высоких отметках. Однако основные элементы водного баланса за рассматриваемый период ниже средних (нормальных) значений, установленных за период 1911—1966 гг.

Величина испарения, определенная как остаточный член водного баланса за период 1937—1970 гг., совпадает с вычисленным испарением. Так как динамика испарения зависит в основном от изменчивости метеоэлементов, очевидно, что рассчитанное (по формуле) испарение отражает действительную картину колебаний этого элемента. Поэтому представляется правомерным использовать вычисленные по эмпирической формуле величины испарения при анализе многолетних колебаний других составляющих водного баланса, например, потерь в дельте и подземного притока.

В связи с тем, что потери стока в дельте р. Или определены приближенно, а подземный приток за рассматриваемый период принят постоянным, составление водного баланса озера за отдельные годы и определение в его расходной части испарения как остаточного члена является очень приближенным. Для анализа колебаний составляющих водного баланса в многолетнем разрезе были составлены водные балансы по годам за период 1911—1966 и 1937—1970 гг. Многолетние изменения элементов водного баланса и обусловливающие эти изменения колебания метеоэлементов показаны на рис. 4. В ходе элементов водного баланса прослеживаются фазы колебаний, соответствующие регрессии и трансгрессии его уровня. Колебания испарения асинхронны колебаниям притока и осадков.

Одной из особенностей оз. Балхаш является различие водных балансов для западной и восточной его частей. По балансовым

**Водный баланс Западного и Восточного Балхаша**

| Западная часть озера | | | $F_{ср} = 10\,611$ км² | | |
|---|---|---|---|---|---|
| приход | мм | км³ | расход | мм | км³ |
| Поверхностный приток | 1106 | 11,73 | Испарение . . . . . | 1052 | 11,16 |
| Подземный приток . . . | 30 | 0,32 | Приращение объема . . . | —5,4 | —0,06 |
| Атмосферные осадки . . | 146 | 1,55 | Отток в восточную часть озера . . . . . | 235 | 2,5 |
| Всего . . . . | 1282 | 13,6 | | 1282 | 13,6 |

расчетам можно установить величину возможных перетоков из Западного Балхаша в Восточный. Натурными наблюдениями определить величину устойчивого перетока, обусловленного течениями стокового характера, не удалось. Причина заключается, по-видимому, в значительных искажениях характера распределения стоковых течений под действием сгонно-нагонных явлений. В табл. 6 приведен водный баланс для западной и восточной частей озера при разной величине испарения ($\Delta E = 76$ *мм*). Величина перетока в среднем за 1911—1966 гг. составила 2,5 км³ (при одинаковом испарении с поверхности Западного и Восточного Балхаша переток увеличивается и достигает примерно 3,0 км³).

За период 1937—1970 гг. нами была вычислена величина перетока по формуле, полученной совместно с В. Д. Красовым,

$$W_{пер} = K_1 W_{пр.З} - K_2 W_{пр.В} - K_1 K_2 F_{оз} \Delta E, \qquad (2)$$

где $K_1 = \frac{F_В}{F_{оз}}$; $K_2 = \frac{F_З}{F_{оз}}$; $F_{оз}$ — площадь водной поверхности озера, км² ($F_З$, $F_В$ соответственно Западного и Восточного Балхаша); $W_{пр.З}$ — объем притока в Западный Балхаш, км³; $W_{пр.В}$ — объем притока в Восточный Балхаш, км³; $\Delta E$ — разница испарения с западной и восточной частей озера, *м*.

Разность испарения принята по приведенной к многолетнему периоду (1911—1966 гг.) величине рассчитанного по формуле испарения и составляет 186 *мм*. (График зависимости перетока от разности притока в Западный и Восточный Балхаш показан на рис. 6 а). Пользуясь этим графиком, можно установить, что переток отсутствует (равен нулю) при средней разнице притоков в Западный и Восточный Балхаш 6,75 км³. Гарантированная величина превышения притока в Западный Балхаш над притоком в Восточный составляет 8,0 км³.

### Перспективные водные балансы оз. Балхаш

Рассмотрим упрощенную схематическую модель природной системы оз. Балхаш (рис. 5), которая позволяет сформировать представления о главных свойствах объекта [1, 2].

*Таблица 6*

**за период 1911—1966 гг.** $F_{ср} = 18\,220$ *км*²

| Восточная часть озера | | | $F_{ср} = 7609$ *км*² | | |
|---|---|---|---|---|---|
| приход | *мм* | *км*³ | расход | *мм* | *км*³ |
| Поверхностный приток | 414 | 3,15 | Испарение . . . . . | 976 | 7,43 |
| Подземный приток . . . | 63 | 0,48 | Приращение объема . . . | —5,4 | —0,04 |
| Атмосферные осадки . . | 166 | 1,26 | | | |
| Приток из западной части озера . . . . . | 328 | 2,50 | | | |
| | 971 | 7,39 | | 971 | 7,39 |

Наличие обратных связей обусловливает одно из свойств поведения природной системы, выражающееся в автоматическом установлении равновесия, нарушенного внешними силами. В нашей системе накопителем информации является наполнение озера. Можно считать, что приток поверхностных вод, потери в дельте, подземный приток и испарение находятся в определенном равновесном состоянии. Исходя из этих представлений, являются достаточно обоснованными попытки установить величину балансовых соотношений притока и «видимого» испарения плюс потери для бессточных водоемов в естественных условиях [24].

Ограниченное использование водно-земельных ресурсов Или-Балхашского бассейна приведет к изменению отдельных элементов природной системы озера. Однако можно ожидать, что равновесное состояние внутри системы установится при балансовых соотношениях отдельных составляющих, близких к естественным. Это позволяет применить к расчетам водного баланса и понижения уровня озера на ближайшую перспективу схему, проверенную в естественных условиях. Программа поведения природной системы оз. Балхаш в будущем будет в значительной мере обусловлена интенсивностью хозяйственной деятельности человека. При этом, очевидно, будет возникать условная обратная отрицательная связь «наполнение озера — хозяйственная деятельность человека». Правильный учет этой связи позволит сохранить на каком-то этапе новое оптимальное равновесное состояние природной системы, неучет ее может привести к полному уничтожению системы. Рассмотрим исходные данные для расчетов перспективного водного баланса озера Балхаш.

**Поверхностный приток.** В расчеты перспективного водного баланса озера положены, в соответствии с известными рекомендациями С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, реальные (наблюденные) сочетания группировок лет различной водности р. Или и рек, впадающих в Восточный Бахаш с учетом прогнозируемых потерь в

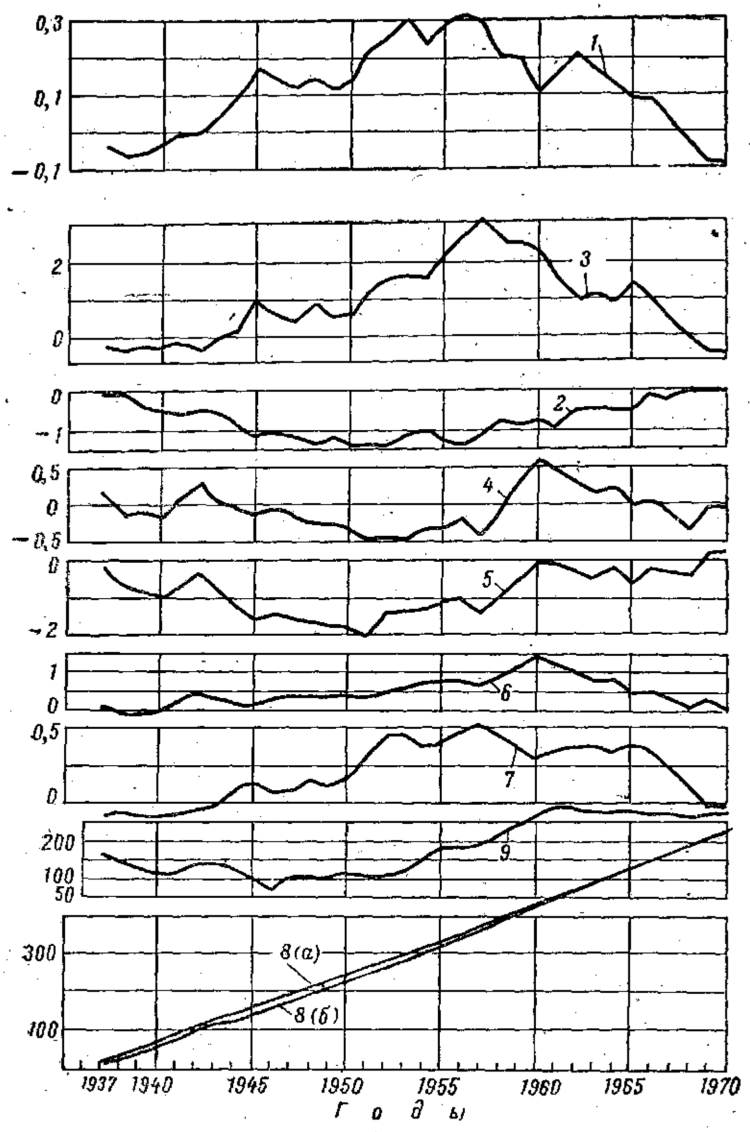



Рис. 4. Многолетние колебания элементов водного баланса оз. Балхаш и метеорологических элементов:

*1* — сумма отклонений температуры от средней, *2* — сумма отклонений осадков от средних, *3* — сумма отклонений числа дней с атмосферными засухами, *4* — сумма отклонений стока р. Или в вершине дельты, *5* — сумма отклонений притока по рекам Каратал, Лепсы, Аксу (суммарно), *6* — сумма отклонений поверхностного притока, *7* — сумма отклонений вычисленного испарения; *8* — интегральные кривые прихода (*а*) в озеро и расхода воды (*б*) из него; *9* — колебания уровня озера

дельте р. Или и отъемов на орошение в бассейнах рек Или, Каратал, Аксу, Лепсы. Варианты развития орошения и определение безвозвратных отъемов приняты по рекомендациям Казгипроводхоза.

Расчеты выполнены с учетом регулирования стока р. Или Капчагайским водохранилищем (без оценки рациональности режима работы водохранилища и ГЭС) и без учета работы водохранилища. В последнем случае годовая величина притока к вершине дельты определена исходя из сохранения минимального перетока воды

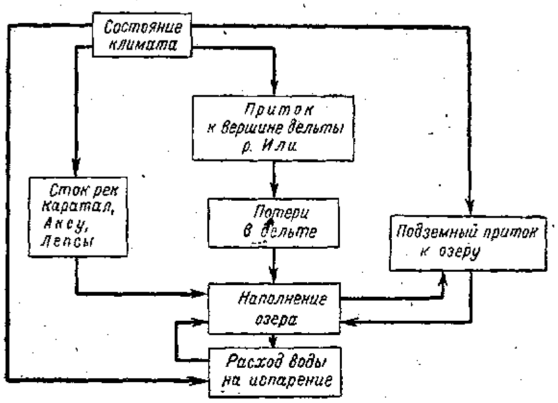



Рис. 5. Схематическая модель природной системы оз. Балхаш

(0,5 $км^3$) из Западного Балхаша в Восточный. Обратный расчет (разница стока р. Или, отъемов на орошение и притока к дельте) позволяет определить то количество воды, которым может располагать водохранилище (табл. 7). Задача подбора оптимального режима работы Капчагайской ГЭС и водохранилища является в настоящее время одной из актуальных. При проведении дальнейших исследований намечается произвести расчеты по моделированным рядам поверхностного стока в водохранилище и озеро.

Для определения необходимого попуска воды в дельту в зависимости от притока в Восточный Балхаш нами построен график, связывающий сток реки Или, потери в дельте, переток между частями озера и приток по рекам, впадающим в Восточный Балхаш (рис. 6 б)*. Основой для построения такого графика послужили закономерности (рис. 6а), установленные выше при расчете балансов западной и восточной частей озера.

Предельная величина перетока (0,5 $км^3$) назначена условно. В настоящее время вопрос о возможности перетоков из восточной в западную часть озера изучен крайне недостаточно. Известна рекомендация М. Н. Тарасова [16] поддерживать в проектных усло-

* Рекомендации использовать для расчетов проектного баланса оз. Балхаш хронологические последовательности стока сделаны И. В. Гуглием, использование номограмм для вычисления перетока из Западного Балхаша в Восточный предложено в Казгидропроекте В. Д. Красовым.

*Таблица 7*

**Результаты расчета понижения уровня оз. Балхаш на перспективу до 2000 г. (по II варианту)**

| Год | Фактическая $n$-летка по стоку рек 1927—1955 гг. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Сток р. Или, $км^3$ за год | Безвозвратные отъемы на орошение выше створа ГЭС, $км^3$ | Аккумуляция в водохранилище без учета потерь на испарение и фильтрацию, $км^3$ | Безвозвратные отъемы на орошение в низовьях р. Или, $км^3$ | Необходимый попуск ($км^3$) в вершину дельты р. Или, сохраняющий переток З→В 0,5 $км^3$ | Сток рек Каратал, Аксу, Лепсы, $км^3$ | Безвозвратные отъемы в бассейнах рек Каратал, Аксу, Лепсы, $км^3$ | Суммарный приток к дельтам рек Каратал, Аксу, Лепсы, $км^3$ | Суммарный поверхностный приток к дельтам рек, $км^3$ | Уровень оз. Балхаш на конец года, $м$ абс. |
| 1972 | 12,2 | 0,25 | 3,38 | 0,07 | 8,5 | 1,95 | 0,05 | 1,90 | 10,4 | 342,17 |
| 1973 | 16,1 | 0,37 | 3,33 | 0,10 | 12,3 | 3,85 | 0,08 | 3,77 | 16,07 | 342,14 |
| 1974 | 13,5 | 0,50 | 1,16 | 0,14 | 11,7 | 3,60 | 0,11 | 3,49 | 15,19 | 342,06 |
| 1975 | 14,0 | 0,63 | 0,40 | 0,17 | 12,8 | 4,15 | 0,14 | 4,01 | 16,81 | 342,07 |
| 1976 | 17,6 | 0,75 | 3,68 | 0,16 | 13,1 | 4,27 | 0,14 | 4,15 | 17,25 | 342,11 |
| 1977 | 13,2 | 0,87 | 3,17 | 0,16 | 9,0 | 2,34 | 0,14 | 2,20 | 11,20 | 341,82 |
| 1978 | 12,3 | 0,98 | 2,67 | 0,15 | 8,5 | 2,08 | 0,14 | 1,94 | 10,44 | 341,52 |
| 1979 | 16,2 | 1,10 | 2,96 | 0,14 | 12,0 | 3,77 | 0,14 | 3,63 | 15,63 | 341,52 |
| 1980 | 14,6 | 1,21 | 3,05 | 0,14 | 10,2 | 2,90 | 0,14 | 2,76 | 12,96 | 341,37 |
| 1981 | 16,7 | 1,40 | 5,12 | 0,18 | 10,0 | 2,80 | 0,16 | 2,64 | 12,64 | 341,22 |
| 1982 | 16,4 | 1,58 | 5,0 | 0,22 | 9,6 | 2,69 | 0,19 | 2,50 | 12,10 | 341,05 |
| 1983 | 11,5 | 1,77 | 1,98 | 0,25 | 7,5 | 1,68 | 0,22 | 1,46 | 8,96 | 340,71 |
| 1984 | 15,0 | 1,95 | 3,66 | 0,29 | 9,1 | 2,53 | 0,25 | 2,28 | 11,38 | 340,53 |
| 1985 | 13,4 | 2,14 | 1,73 | 0,33 | 9,2 | 2,57 | 0,27 | 2,30 | 11,50 | 340,38 |
| 1986 | 19,0 | 2,33 | 3,68 | 0,39 | 12,6 | 4,18 | 0,29 | 3,89 | 16,49 | 340,55 |
| 1987 | 17,6 | 2,52 | 2,03 | 0,45 | 12,6 | 4,21 | 0,32 | 3,89 | 16,49 | 340,70 |
| 1988 | 11,0 | 2,70 | —0,42 | 0,52 | 8,2 | 2,16 | 0,34 | 1,82 | 10,02 | 340,45 |
| 1989 | 13,5 | 2,89 | 2,73 | 0,58 | 7,3 | 1,76 | 0,36 | 1,36 | 8,66 | 340,13 |
| 1990 | 13,3 | 3,07 | 2,69 | 0,64 | 6,9 | 1,55 | 0,38 | 1,17 | 8,07 | 339,79 |
| 1991 | 15,8 | 3,27 | 0,72 | 0,71 | 11,1 | 3,64 | 0,41 | 3,23 | 14,33 | 339,90 |
| 1992 | 13,5 | 3,45 | —0,52 | 0,77 | 9,8 | 3,00 | 0,43 | 2,57 | 12,37 | 339,87 |
| 1993 | 12,9 | 3,63 | 0,76 | 0,83 | 9,2 | 2,76 | 0,45 | 2,31 | 11,51 | 339,78 |
| 1994 | 14,2 | 3,83 | —0,23 | 0,90 | 9,7 | 3,04 | 0,47 | 2,57 | 12,27 | 339,76 |
| 1995 | 14,6 | 4,0 | 0,44 | 0,96 | 9,2 | 2,80 | 0,50 | 2,30 | 11,50 | 339,68 |
| 1996 | 12,3 | 4,18 | —0,61 | 1,03 | 7,7 | 2,10 | 0,52 | 1,58 | 9,28 | 339,46 |
| 1997 | 15,1 | 4,38 | —4,17 | 1,09 | 13,8 | 5,03 | 0,54 | 4,49 | 18,29 | 339,88 |
| 1998 | 14,1 | 4,55 | —1,70 | 1,15 | 10,1 | 3,40 | 0,57 | 2,73 | 12,83 | 339,88 |
| 1999 | 17,0 | 4,75 | 1,03 | 1,22 | 10,0 | 3,40 | 0,59 | 2,71 | 12,71 | 339,87 |
| 2000 | 15,0 | 4,94 | 2,42 | 1,28 | 11,2 | 9,82 | 0,61 | 3,21 | 14,41 | 339,97 |

виях переток через перемычку с Запада на Восток в размере 0,8 $км^3$, однако, эта величина обоснована недостаточно. Следует отметить, что исключительно большую роль в формировании перетоков

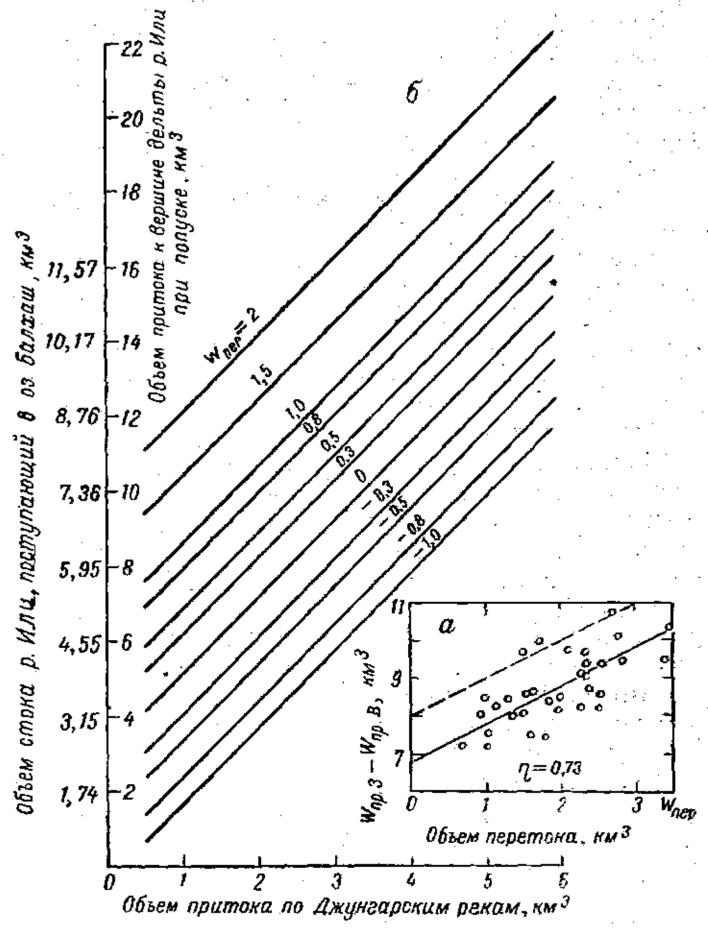



Рис. 6. График для определения перетока между западной и восточной частями озера:

*а* — связь годовых величин перетока и разницы притока в восточную и западную части озера за период 1937—1971 гг.; *б* — связь годовых объемов попусков из Капчагайского водохранилища, годовых величин перетоков между Западным и Восточным Балхашом и притоком по рекам Каратал, Аксу, Лепсы

воды между указанными частями озера и его гидрохимического режима могут играть ветровые сгонно-нагонные течения. Величина перетока за счет разницы в балансах частей озера играет, по мнению Курдина, роль некоторого компенсатора. Его влияние на улучшение гидрохимического состояния Западного Балхаша (при превалирующем действии ветра без разделения озера перемычкой) будет заметно уменьшаться при уменьшении притока в Западный Балхаш, а точнее при уменьшении разницы притока в западную и восточную части озера.

К изучению перетоков в условиях наполнения Капчагайского водохранилища в 1971 г. приступило УГМС КазССР по договору с Казгидропроектом. Программа наблюдений, составленная при участии автора настоящей статьи, включает организацию инструментальных измерений в проливе Узун-Арал в различные фазы режима озера и особенно в периоды сгонов и нагонов.

Расчеты перспективных водных балансов до 2000 г. выполнены для следующих наблюденных группировок различной водности: 1927—1936 гг. — средняя десятилетка, по стоку которой оценивалось наполнение Капчагайского водохранилища; 1950—1968 гг. — 19 лет со стоком р. Или, близким к среднему.

Во втором варианте принималась также десятилетка (1927—1936 гг.) и годовые величины стока за период 1937—1955 г., в течение которого наблюдалась пониженная водность рек, впадающих в Восточный Балхаш. Отметим, что в общем колебания стока р. Или и рек, впадающих в Восточный Балхаш синхронны. Коэффициент корреляции стока р. Или и суммарного стока рек Каратал, Аксу, Лепсы достигает 0,85. Однако наличие внутрициклической асинхронности не исключается. Синхронность стока рек, впадающих в Западный и Восточный Балхаш, будет несколько уменьшать многолетнюю регулирующую способность Капчагайского водохранилища, так как в многоводные годы потребуется повышенный попуск в оз. Балхаш для сохранения благоприятного солевого режима Западного Балхаша, воды которого широко используются на хозяйственное водоснабжение.

Потери воды в дельте р. Или в условиях регулирования стока определены по аналогии с естественным режимом для одной из возможных моделей внутригодового распределения попуска. Зависимость величины потерь в дельте от величины годового попуска показана на рис. 2, *в, 2*. Аналитическое выражение этой зависимости имеет следующий вид:

$$W_{\text{пот}} = 0{,}298W_{\text{Или}} - 0{,}338. \qquad (3)$$

Повышенное значение потерь стока в дельте по сравнению с естественными условиями объясняется следующим. При минимальном гарантированном попуске из водохранилища 9—9,5 *км*$^3$ в год около 0,8 *км*$^3$ будет теряться (аккумулироваться, а затем расходоваться на испарение и транспирацию) в период весеннего повышенного попуска, необходимого для обводнения сенокосов. В протоку Топар дополнительно будет поступать около 0,5 *км*$^3$ в связи с проведением мероприятий по ее расчистке. Эта часть стока будет теряться в озерах и болотах Топарской системы, не имеющей выхода в озеро. Потери стока в русловой сети, тупиковых протоках и проточных озерах оцениваются ориентировочно в 0,7—0,9 *км*$^3$. Таким образом суммарные годовые потери составят около 2,0—2,2 *км*$^3$.

Потери в дельте для расчета водного баланса на перспективу можно определять также по кривой связи (рис. 2, *в, 1*), установлен-

ной для естественных условий. Этот график потерь применим для любых вариантов внутригодового распределения попусков. Однако при этом допускается, что в период наполнения водохранилища и первые годы его эксплуатации русловые системы дельты не придут в соответствие с новым руслоформирующим расходом, а сохранятся старые, сложившиеся в современных бытовых условиях зависимости морфометрических и морфологических характеристик русла от расхода воды.

Понижение уровня оз. Балхаш приведет к уменьшению подпора, увеличению уклона и пропускной способности русел проток в нижней части дельты и, следовательно, также может оказать влияние на величину потерь. В настоящее время учесть влияние этих факторов на изменение потерь в дельте не представляется возможным.

Трансформацию стока в дельте, наблюдавшуюся в естественных условиях, следует учитывать лишь при попусках многоводных лет, когда ее влияние может несколько нарушить синхронность внутригодового распределения стока, поступающего в озеро из р. Или и стока рек, впадающих в Восточный Балхаш. Учет этого влияния позволит избежать возможных просчетов при определении перетоков воды из Западного Балхаша в Восточный за внутригодовые периоды.

**Подземный приток, осадки, испарение.** Величина подземного притока, достаточно подробная оценка которой дана выше, в расчетах на перспективу может приниматься постоянной (0,8 $км^3$) лишь условно. Следует отметить, что подземным притоком определяется значительная доля поступающих в Балхаш солей, поэтому изучению этой составляющей на перспективу должно быть уделено особое внимание.

Отсутствие в настоящее время сколь-нибудь достоверного прогноза климатических изменений на перспективу до 2000 г. лишает возможности дать рекомендации по определению осадков и испарения на длительный период. Обычно в расчетах допускается принимать значения этих элементов, равных среднемноголетним. Оценка точности определения испарения дана выше. Естественно, что недоучет направленности климатических процессов в будущем может привести к значительным погрешностям при определении основной составляющей расходной части баланса.

Недостаточная надежность при оценке составляющих водного баланса озера на перспективу и в первую очередь таких элементов, как испарение, потери в дельте, подземный приток, определила выбор приема расчета, позволяющего определить возможные понижения уровня озера, исходя из существующих в естественных условиях соотношений элементов водного баланса [24].

Расчеты понижения уровня озера для нескольких вариантов приточности на перспективу до 2000 г. были выполнены в КазНИГМИ на ЭВМ «Проминь-2» по программе, составленной Голубцовым. На рис. 7 показан многолетний ход колебаний уровня озера за период с 1879 до 1971 г. и возможные изменения уровня до

2000 г. при одном из вариантов развития орошения в Или-Балхашском бассейне.

Предварительно можно сделать следующие выводы. Отъемы воды на наполнение Капчагайского водохранилища и орошение земель в Или-Балхашском бассейне могут привести к постепенному снижению уровня озера на 2—3 *м* по сравнению с современным (за исходный уровень на конец 1971 г., принята отметка 342,5), при этом не учитываются возможные тенденции понижений уровня за счет циклических колебаний климата. Оценка точности расчета при различных соотношениях элементов водного баланса озера показала вполне приемлемую для практики разницу в конечных уровнях озера — 20—30 *см*.

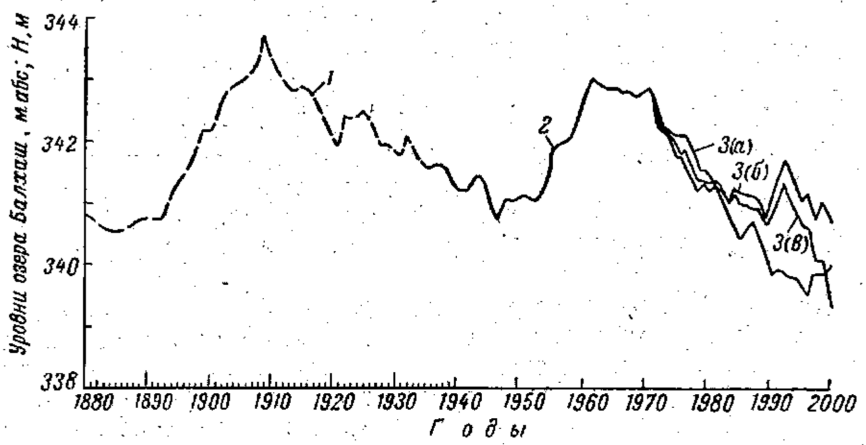



Рис. 7. Колебания уровня оз. Балхаш за период 1879—2000 гг.:
*1* — восстановленные, *2* — наблюденные *3а*, *3б*, *3в* — рассчитанные значения вариантов *1*, *2*, *3* соответственно

При понижении уровня на 3 *м* площади и объемы озера резко сократятся (площади примерно на 25% по сравнению со среднемноголетней величиной, объемы уменьшаются на 40 $км^3$), что приведет к существенным изменениям водного и солевого режимов озера и окажет влияние на промышленное водоснабжение, ондатроводство, рыбное хозяйство. В связи с этим потребуется разработка комплекса водохозяйственных и гидротехнических мероприятий, обеспечивающих сохранение водоема при оптимальном развитии отраслей народного хозяйства, зависящих от режима озера.

До настоящего времени нет научно обоснованных экономических рекомендаций по ограничению понижения уровня озера, что значительно затрудняет выбор оптимального направления использования водноземельных ресурсов Или-Балхашского бассейна. Предварительно может быть названа предельная отметка снижения, рекомендованная Правительственной комиссией по Балхашу в 1970 г. и равная 341 *м*, однако при этом будет резко ограничиваться развитие орошения в бассейне р. Или и особенно в ее низовьях.

Другим аспектом проблемы оз. Балхаш является его оценка как

природного объекта. Естественно, что снижение уровня до отметки 339 *м* и ниже приведет к разделению озера на два водоема и резкому изменению солевого режима. Это в определенной мере будет оказывать влияние на животный и растительный мир самого водоема и прилегающей территории.

В заключение назовем основные направления гидрологических, гидрогеологических и водохозяйственных исследований, без проведения которых немыслимо рещение использования для народного хозяйства исключительно сложной природной системы, какой является Или-Балхашский бассейн.

1. Изучение стока в дельте р. Или и его трансформации в протоках и водоемах дельты в условиях наполнения водохранилища Капчагайской ГЭС.

2. Изучение подземного притока к оз. Балхаш и возможного оттока.

3. Изучение перетока воды между восточной и западной частями озера.

4. Изучение солевого режима озера и разработка прогноза гидрохимического состояния озера на перспективу.

5. Воднобалансовые исследования орошаемых территорий в пределах естественных водосборов рек Или-Балхашского бассейна.

6. Оценка тенденций изменений климата в будущем и влияние этих изменений на водный и солевой баланс оз. Балхаш.

7. Исследования многолетних колебаний элементов водного баланса оз. Балхаш, прогноз их изменений и составление водохозяйственного баланса Или-Балхашского бассейна.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Арманд А. Д. Природные комплексы как саморегулируемые информационные системы. АН СССР, серия географ., 1966, № 2.
2. Арманд А. Д. Модели и информация в физической географии. Знание, М., 1971.
3. Ахмедсафин У. М., Шапиро С. М. Подземный сток в озеро Балхаш. Вестник, № 5(301), Наука КазССР, Алма-Ата, 1970.
4. Будыко М. И., Юдин М. И. О колебаниях уровня непроточных озер. Метеорология и гидрология, № 8, 1960.
5. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Гидрометеоиздат, Л., 1967.
6. Гельбух Т. М. Элементы водного баланса дельты р. Или. Труды ГГИ, вып. 79, 1960.
7. Дроздов О. А., Покровская Т. В. Об оценке роли случайных вариаций водного баланса в колебании уровня непроточных озер. Метеорология и гидрология, № 8, 1961.
8. Илийская долина, ее природа и ресурсы. АН КазССР, Алма-Ата, 1963.
9. Искендиров Т. Водный баланс озера Балхаш. Метеорология и гидрология, № 2, 1968.
10. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Колебания уровня замкнутых водоемов. Труды Гидропроекта, сб. 12, Энергия, М.—Л., 1964.
11. Кузнецов В. И., Федорова Т. Г. Сравнительная оценка методов расчета испарения с водоемов. Труды ГГИ, вып. 152, 1968.
12. Курдин Р. Д. О вековых колебаниях уровня оз. Балхаш. Сб. работ Алма-Атинской ГМО, вып. 4, 1969.
13. Курдин Р. Д., Мельничукова Е. Г., Мирошниченко С. Н. О водном балансе озера Балхаш. Сб. работ Алма-Атинской ГМО, вып. 4, 1969.

14. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 13. Центральный и Южный Казахстан, вып. 2. Бассейн оз. Балхаш. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
15. Семенов В. А. Испарение и конденсация снега в условиях Центрального Казахстана. Труды КазНИГМИ, вып. 18, 1963.
16. Тарасов М. Н. Гидрохимия озера Балхаш. Изд. АН СССР, М., 1961.
17. Утешев А. С. Атмосферная засуха. В кн. Климат Казахстана. Гидрометеоиздат, Л., 1959.
18. Хайдаров Р. М. О динамике русловых процессов в дельте р. Или. Труды Гидропроекта, Сб., 4, М., 1960.
19. Хайдаров Р. М. Динамика дельты р. Или. Труды ГГИ, вып. 160, 1968.
20. Шнитников А. В. Элементы водного и солевого баланса озера Балхаш. Труды Соляной лаборатории Всесоюзного ин-та галлургии, вып. 11, 1936.
21. Шнитников А. В. Озера Западной Сибири — индикаторы колебаний общей увлажненности их бассейнов. Озера полуаридной зоны. АН СССР, М., 1963.
22. Юнусов Г. Р. Гидрологический режим оз. Балхаш. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. IV, Гидрометеоиздат, Л., 1959.
23. Юнусов Г. Р. Водный баланс озера Балхаш. Сб. «Проблема водохозяйственного использования р. Или», АН КазССР, Алма-Ата, 1950.
24. Голубцов В. В., Морозова О. А. Прогноз изменения уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия (см. настоящий сборник).

*Р. Д. КУРДИН*

# О СОЛНЕЧНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ И ПРОГНОЗАХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Из всех факторов, определяющих колебания климата Земли, наибольшее развитие получили исследования в области влияния солнечной деятельности. История этих исследований насчитывает более 300 лет. В последние десятилетия возникла новая отрасль науки — гелиогеофизика, целиком посвященная проблеме Солнце — Земля. Ведущую роль в ее развитии играют советские ученые — астрофизики, магнитологи, геофизики, метеорологи, гидрологи.

Вопросам влияния солнечной деятельности на процессы в тропосфере и климат посвящено огромное количество исследований, обзор которых имеется в работах Б. М. Рубашева [68], М. С. Эйгенсона [83], Б. И. Сазонова [71, 73]. За последние десятилетия на обширном материале показано влияние циклических колебаний солнечной деятельности на циркуляцию атмосферы, все элементы климата, речной сток, водный баланс и уровни озер. Для многих районов земного шара выявлены солнечно-обусловленные переломы в развитии тропосферных и гидрологических процессов, связи колебаний этих процессов с 11-летними и вековыми циклическими колебаниями солнечной активности. На основе прогнозов будущего хода солнечной активности составляются прогнозы (оценки общих тенденций) атмосферной циркуляции, колебаний климата, общей увлажненности, речного стока и уровня крупных водоемов на годы и десятилетия вперед.

В то же время многочисленные исследования показали, что солнечно-тропосферные и солнечно-гидросферные связи не везде и не всегда выражены, во многих случаях неустойчивы во времени и пространстве. В отдельные периоды имеет место «исчезновение» связей или изменение знака связей на обратный. В частности, такое явление отмечалось в 20—30-е годы текущего столетия. До сих пор не совсем ясен механизм воздействия колебаний геоактивной солнечной радиации на барическое поле Земли и циркуляцию атмосферы.

В этой связи, а также в силу определенной консервативности мышления солнечно-гидрометеорологические связи и обусловленные ими циклические колебания гидрометеорологических явлений

еще не получили широкого применения в прикладной климатологии и гидрологии и в практической деятельности Гидрометслужбы СССР по режимному обеспечению и оперативному гидрометеорологическому обслуживанию народного хозяйства.

До последнего времени синоптики рассматривали атмосферу как замкнутую систему и все происходящее в ней процессы объясняли, исходя из них самих, без учета внешних воздействий. Все общепризнанные теории цикло- и антициклогенеза игнорируют солнечную активность (как и другие внешние факторы).

Ряд авторитетных ученых и специалистов отрицает наличие сколько-нибудь определенной солнечно-обусловленной цикличности в атмосферной циркуляции, колебании гидрометеорологических элементов. В соответствии с этим они считают, что в настоящее время отсутствует научная основа для сверхдолгосрочных прогнозов климата и водных ресурсов.

Академик АН Узбекской ССР В. А. Бугаев писал: «Метеорологическая литература знает великое множество попыток найти различные периоды в циркуляции атмосферы, обнаружить такие закономерности, которые позволили бы считать, что в появлении если не всех, то хотя бы некоторых процессов планетарного масштаба наблюдается определенная цикличность. К сожалению нет ни строгой периодичности, ни устойчивых циклов в смене крупномасштабных процессов атмосферной циркуляции, которые могли бы стать надежной основой долгосрочных прогнозов погоды» [18].

Имеется и другая крайняя точка зрения. Ее сторонники все колебания атмосферной циркуляции, климата и гидрологического режима рассматривают только с позиций влияния солнечной деятельности. Соответственно при разработке сверхдолгосрочных прогнозов климата и водных ресурсов ими учитывается только прогноз солнечной активности. Другие факторы колебаний климата (приливообразующие силы, МПВЗ, скорость вращения Земли, деятельность Человека, вулканическая деятельность, внутренние закономерности атмосферных процессов) при этом практически игнорируются. Нередко полученные за сравнительно короткий период времени связи без всяких оговорок и учета вековых фаз экстраполируются на десятилетия вперед.

Для оценки реальности солнечно-гидрометеорологических связей и основанных на них прогнозов рассмотрим кратко результаты современных исследований влияния солнечной деятельности на циркуляцию атмосферы и климат.

**Роль корпускулярной радиации Солнца.** Исследования последних лет, основанные на прямых измерениях солнечной радиации в верхних слоях атмосферы и в Космосе [88, 72], значительно изменили существовавшие до недавнего времени представления о роли различных видов солнечного излучения в управлении погодой и климатом и о механизме этого управления. Эти измерения показали, что изменения энергии волновой радиации Солнца (включая ультрафиолетовый и рентгеновский участки спектра) в солнечных циклах невелики. В то же время корпускулярное излучение Солнца

в зависимости от уровня солнечной активности может то усиливаться, то ослабляться в десятки и сотни раз. Энергия, приносимая в атмосферу Земли с корпускулярными потоками, в отдельных случаях сравнима с коротковолновой радиацией Солнца (солнечной постоянной).

В этой связи в последние годы наибольшее развитие получила корпускулярная теория солнечной активности, разрабатываемая Л. А. Вительсом, Б. Н. Рубашевым, Б. И. Сазоновым, В. Ф. Логиновым, А. И. Олем, Э. Р. Мустелем и др. советскими и зарубежными гелиогеофизиками. На основе последних работ этих авторов [12, 26, 58, 59, 71, 73] коротко изложим современные представления о корпускулярном излучении и его роли.

Как установлено, Солнце является источником трех видов заряженных частиц.

1. Непрерывное корпускулярное излучение Солнца, представляющее собой истечение коронального газа (солнечный ветер). Скорость частиц на орбите Земли составляет 300—500 *м/сек*, плотность 2—10 частиц в 1 $см^3$. В периоды возмущений на Солнце скорость их увеличивается до 500—700 *м/сек*, плотность до 100 частиц в 1 $см^3$.

2. Плазменные облака, выбрасываемые из активных областей Солнца во время хромосферных вспышек (вспышечное или перекуррентное излучение). Скорость перемещения облака плазмы достигает 1000—2000 *км/сек*, а плотность частиц в облаке до нескольких сотен в 1 $см^3$.

3. Солнечные (мягкие) космические лучи-частицы высоких энергий (заряженные протоны), которые генерируются в активных областях Солнца во время мощных (протонных) хромосферных вспышек. Скорость частиц близка к скорости света. Плотность частиц в потоке мала — порядка $10^{-5}$—$10^{-8}$ частиц в 1 $см^3$. При определенных условиях потоки частиц существенно уплотняются за счет фокусировки в магнитных полях Земли и Космоса [73, 84, 87, 91].

С точки зрения энергии (скорости) корпускулярные потоки разделяют на два класса: частицы низких энергий (солнечная плазма) с энергией протонов $10^3$—$10^4$ *эв* и частицы высоких энергий (космические лучи) с энергией протонов $\geqslant 10^7$ *эв*. Космические лучи приходят главным образом из Галактики. Мягкие космические лучи (энергия $<10^9$ *эв*) приходят также, как уже отмечалось, от Солнца. Плотность их значительно выше, чем галактических.

Частицы низких энергий, несущие с собой от Солнца магнитные поля, вызывают деформацию и возмущения магнитного поля Земли и поглощаются в верхних слоях атмосферы. По условиям генерирования на Солнце потоки этих частиц подразделяют на вспышечное излучение и *М*-излучение [64]. Вспышечное излучение связано с хромосферными вспышками, наблюдающимися в периоды высокой запятненности Солнца.

*М*-излучение выбрасывается из так называемых *М*-областей на Солнце и не связано с какими-либо видимыми солнечными образо-

ваниями. В связи с характером повторяемости геомагнитных возмущений, вызываемых этим излучением, оно получило название рекуррентного излучения. Рекуррентное излучение вызывает авроральные (полярные) магнитные бури, вспышечное (нерекуррентное) излучение — планетарные магнитные бури [64].

Ход рекуррентного и вспышечного излучения в 11-летнем цикле солнечной активности существенно различен (рис. 1). Вспышечное излучение в общем соответствует ходу чисел Вольфа. Минимум рекуррентного излучения наступает одновременно с минимумом

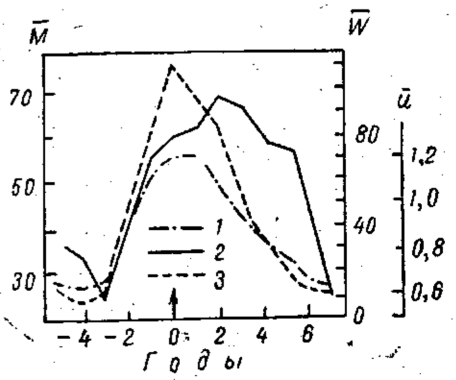



Рис. 1. Средние циклические кривые (за 1884—1966 гг.):

*1* — числа Вольфа, *2* — числа вспышечных магнитных бурь (в среднем за год), *3* — числа рекуррентных магнитных возмущений (в среднем за год, по А. И. Олю)

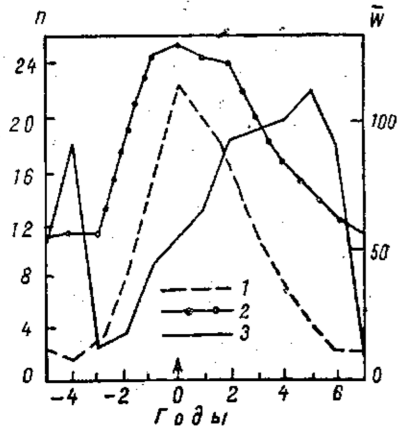



Рис. 2. Средние циклические кривые:

*a* — меры магнитной возмущенности (*1*), *M* — магнитной возмущенности (*2*) и чисел Вольфа (*3*) по А. И. Олю

чисел Вольфа или на год позже. Максимум этого излучения наступает незадолго до минимума чисел Вольфа. Такой ход различных видов корпускулярного излучения Солнца обусловливает двухвершинность солнечно-обусловленных колебаний ряда гидрометеорологических элементов в 11-летнем цикле солнечной активности.

Частицы высоких энергий проникают в магнитное поле Земли, не вызывая его возмущений. Мягкие космические лучи достигают верхних слоев тропосферы (20—30 *км* от поверхности Земли). Жесткие космические лучи (в виде вторичного излучения, образующегося в результате ядерных взаимодействий в атмосфере) способны пронизывать всю атмосферу. Наиболее благоприятны для вторжения этих частиц области расположения полюсов диполей и мультиполей (Скандинавия, Северо-Запад СССР, Северо-Запад Африки, Восточная Сибирь и др.).

Возможность попадания частиц высоких энергий в атмосферу Земли и их тропо-эффективность в тот или иной отрезок времени определяется напряженностью магнитных полей космоса и Земли, зависящей от излучаемых солнцем потоков частиц низких энергий [52, 73, 84, 87, 91, 94]. Лишь частицы галактического происхождения с энергией более $10^{11}$ *эв* легко проходят магнитное поле. Наи-

более благоприятным условием является средняя напряженность. При малой напряженности потоки частиц не могут быть сфокусированы. В этом случае в нижнюю атмосферу попадают нетропо-эффективные потоки. При большой напряженности происходит экранирование (выметание из магнитосферы Земли) наиболее распространенных в космосе частиц высоких энергий ($5 \cdot 10^8$—$5 \cdot 10^9$ *эв*) и снижение тропо-эффективности корпускулярных потоков [71, 73].

Частицы высоких энергий генерируются на Солнце преимущественно в годы максимума солнечной активности, однако в это время возрастают и вспышечные потоки частиц низких энергий (плазменные облака), экранизирующие своими магнитными полями Землю от частиц высоких энергий солнечного и космического происхождения. В годы минимума солнечной активности уменьшение плотности плазменных облаков как бы раскрывает Землю для частиц высоких энергий и в ее атмосфере отмечается максимум поступления этих частиц, однако из-за отсутствия их фокусировки тропо-эффективность потоков сравнительно невелика.

Таким образом, поступление частиц высоких энергий в атмосферу Земли и их тропо-эффективность определяется, с одной стороны, уровнем генерирования этих частиц на Солнце и в Галактике, а с другой стороны — конфигурацией и напряженностью магнитных полей Земли и космоса, связанных с деятельностью Солнца и возможно с внутриземными процессами (дрейф субъядра Земли).

Основная энергия частиц высоких энергий поглощается в нижних слоях атмосферы, стимулируя появление и развитие барических образований и усиление меридиональной циркуляции в стратосфере и тропосфере. Частицы низких энергий поглощаются в высоких слоях атмосферы и тратят основную часть своей энергии на ионизацию и разогрев ионосферного воздуха. В этой связи они, по-видимому, играют меньшую роль в возмущении нижней атмосферы [73].

Ввиду отсутствия данных регулярных непосредственных измерений в верхней атмосфере в качестве косвенных показателей интенсивности корпускулярных потоков используются показатели геомагнитной возмущенности (*C, K, M, A, u*-мера и др.), вычисленные по данным магнитных обсерваторий [64, 72].

Индексы *K, M, A*, отражающие авроральные (полярные) магнитные бури, косвенно характеризуют интенсивность вызывающих их рекуррентных корпускулярных потоков и общую напряженность (возмущенность) магнитного поля Земли, обусловленную этим излучением. Их ход, как и ход рекуррентного излучения, дает в 11-летнем цикле солнечной активности второй максимум вблизи минимума чисел Вольфа (рис. 2). Индекс *u*-мера, отражающий планетарные магнитные бури, косвенно характеризует вызывающее их вспышечное корпускулярное излучение Солнца и напряженность магнитного поля Земли, обусловленную этим излучением. Ход этого индекса близок к ходу чисел Вольфа.

Значения планетарных индексов геомагнитной возмущенности вычислены и опубликованы с 1884 г. [64, 85, 90]. Наибольшее рас-

пространение для исследования солнечно-тропосферных связей получил планетарный индекс $K_p$, характеризующий рекуррентное корпускулярное излучение Солнца и напряженность магнитного поля Земли. Зачения этого индекса колеблются от 0—5 единиц в очень спокойные в геомагнитном отношении дни до 50—60 единиц в периоды очень больших возмущений.

Поскольку вторжения частиц высоких энергий в атмосферу Земли не вызывают геомагнитных возмущений (хотя и зависят от напряженности магнитных полей), то их наличие может быть установлено только на основе так называемых радиовсплесков IV рода, наблюдаемых на Земле в период протонных вспышек на Солнце, либо путем непосредственных измерений в околоземном космосе.

Косвенным показателем напряженности магнитных полей в космосе могут служить числа Вольфа, отражающие вспышечные (плазменные) потоки, транспортирующие магнитные поля с Солнца в межпланетное пространство и к Земле [73, 94]. Между возмущенностью магнитного поля Земли и напряженностью магнитных полей в Космосе выявлена связь, не носящая строго линейного характера. Это позволяет в первом приближении заменять один индекс другим.

Однако при этом следует иметь в виду, что индекс $K_p$ характеризует напряженность магнитных полей на орбите Земли (т. е. в околоземном космосе), а индекс $W$ — в межпланетном пространстве. Ввиду приближенности (нелинейности) связи между характеристиками этих полей ни числа Вольфа, ни индекс $K_p$ не могут однозначно определять приток частиц высоких энергий в атмосферу Земли. Изменения обстановки в космосе могут соответственно нарушать связи между этими индексами и тропосферными явлениями. Сазонов и Логинов [73] недавно отметили, что осредненные характеристики запятненности Солнца для периода не менее года являются косвенным показателем напряженности магнитных полей в космосе. Для более коротких периодов лучшим показателем является осредненный планетарный индекс $K_p$.

Из изложенного выше следует, что корпускулярное излучение Солнца в разные фазы 11-летнего цикла солнечной активности имеет разную природу [12, 64]. Подобные тенденции проявляются и в вековом цикле солнечной активности.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что ни один из индексов солнечной активности или магнитной возмущенности, взятый в отдельности, не может полностью отразить такое сложное явление как солнечная деятельность и ее воздействие на атмосферу Земли.

Числа Вольфа ($W$) и индекс $u$-мера характеризуют в основном повторяемость (частоту) и интенсивность вспышечных потоков частиц низких энергий (солнечной плазмы), а также в некоторой мере генерацию на Солнце частиц высоких энергий. Индекс $W$ отражает, кроме того, колебания ультрафиолетовой радиации Солнца.

Индекс $K_p$ и, по-видимому, индекс $a$ солнечной активности характеризуют интенсивность рекуррентных потоков частиц низких энергий и обусловленную ими более плавную и устойчивую составляющую напряженности магнитных полей Космоса и Земли.

В то же время $W$ и $K_p$ косвенно характеризуют напряжение магнитных полей Космоса и Земли и соответственно режим облучения Земли частицами высоких энергий. При этом связь $W$ и $K_p$ между собой и с тропо-эффективным облучением Земли частицами высоких энергий нелинейна и неоднозначна.

Прямая связь между геомагнитной возмущенностью и возмущенностью барического поля и циркуляции атмосферы наблюдается при низком или среднем уровне геомагнитной возмущенности. При сильной геомагнитной возмущенности отмечается обратная связь [72, 94].

Наибольшая тропо-эффективность потоков частиц высоких энергий солнечного и галактического происхождения, по Сазонову и Логинову [73], обеспечивается при значениях $K_p$ в пределах 16—18. Эти значения имеют место на фазах подъема и спада 11-летнего и векового циклов солнечной активности, т. е. при значениях чисел Вольфа, сравнительно близких к средним. При уменьшении или увеличении значений $K_p$ и $W$ более определенных пределов тропо-эффективность частиц высоких энергий уменьшается.

Очевидно, что поскольку значения $W$ и $K_p$ в фазах 11-летнего цикла существенно изменяются по фазам 22-летнего и особенно векового циклов, то в различные фазы 22-летнего, векового циклов степень тропо-эффективности частиц высоких энергий будет различна, а максимумы этой эффективности в 11-летних циклах должны смещаться по отношению к максимумам $W$ и $K_p$ в зависимости от фазы 22-летнего и векового циклов.

В последние годы в свете развития корпускулярной теории солнечного управления климатом высказывались мнения о том, что числа Вольфа не полностью отражают тропо-эффективные стороны солнечной деятельности и что в этой связи лучше использовать те или иные индексы магнитной возмущенности. Это мнение справедливо лишь в той мере, что ни один из индексов солнечной активности (как и ни один из индексов геомагнитной возмущенности), взятый в отдельности, как уже отмечалось, действительно не может полностью отразить все проявления такого сложного и многогранного процесса как солнечная деятельность.

Индекс $W$, как показано выше, является достаточно объективным показателем ряда проявлений солнечной деятельности. Однако он не отражает рекуррентное излучение Солнца и хуже, чем индекс $K_p$ отражает напряженность магнитного поля Земли. В этой связи при исследовании солнечно-гидрометеорологических связей индекс $W$ целесообразно дополнять индексом $K_p$.

Интересно отметить сходство рассмотренного Б. И. Сазоновым [73] максимума тропо-эффективности частиц высоких энергий при некоторых близких к средним значениям чисел Вольфа и индекса $K_p$ с отмеченным К. Я. Кондратьевым [44, 45, 61] максиму-

мом значения солнечной постоянной при некоторых близких к средним (в современном вековом цикле) значениях чисел Вольфа (80—100). При увеличении или уменьшении $W$ солнечная постоянная уменьшается.

Если солнечная постоянная действительно изменяется в пределах ±2%, то не исключено, что именно этим в первую очередь объясняется повышенная возмущенность атмосферы при некоторых средних значениях $W$ и $K_p$. Возможно, что оба явления как-то связаны между собой. Во всяком случае эта аналогия заслуживает внимания и изучения.

Б. И. Сазонов и некоторые другие гелиогеофизики считают частицы высоких энергий главным агентом солнечного излучения, возмущающим нижнюю атмосферу. Роль частиц низких энергий в управлении погодой и климатом, согласно их мнению, в основном сводится к регулированию облучения Земли частицами высоких энергий через формирование магнитных полей Космоса и Земли.

В настоящее время установлено, что мощные вторжения частиц высоких энергий в атмосферу Земли во время протонных вспышек на Солнце приводят к изменению циркуляции атмосферы и погоды независимо от предшествующего фона. Это подтверждает высокую роль этих частиц в управлении погодой и климатом.

Однако, по-видимому, нельзя исключать роль ультрафиолета и частиц низких энергий как агента возмущения атмосферы. Об этом свидетельствует тот факт, что переломам в ходе солнечной активности (индекса $W$) в 11-летнем цикле (характеризующей в основном облучение Земли ультрафиолетом и потоками низких энергий), как правило, соотвествуют (±1 год) переломы в ходе метеорологических и гидрологических явлений.

Согласно современным представлениям, солнечная деятельность воздействует на тропосферные процессы, погоду и климат по следующим возможным каналам:

1. Путем нагревания и возмущения верхних слоев атмосферы волновой радиацией и частицами низких энергий с последующей передачей возникших возмущений в нижние слои атмосферы.

2. Путем нагревания ультрафиолетовой радиацией слоя озона, разрушения молекул кислорода и образования добавочных ядер конденсации.

3. Путем непосредственного механического и теплового воздействия частиц высоких энергий на тропосферу со стимуляцией мощных высотных барических образований.

4. Путем воздействия ультрафиолетового излучения и частиц высоких энергий на ионизацию атмосферы и ее электрические свойства и соответственно на грозовую деятельность, образование облаков и осадков.

5. Путем повышения турбулентности атмосферы и вертикального турбулентного обмена под действием корпускулярного излучения.

Если данные Кондратьева об изменении солнечной постоянной в 11-летнем цикле солнечной активности подтвердятся, то одним из ведущих факторов колебаний солнечной деятельности следует считать воздействие коротковолновой радиации Солнца на температурное поле и тепловой баланс Земли.

Как уже отмечалось выше, все проявления солнечной деятельности имеют 11-летнюю цикличность, однако, максимум и минимум их воздействия на тропосферные процессы вследствие условий генерирования их на Солнце и проникновения в атмосферу Земли по-разному сочетаются с фазами солнечной активности (запятненности Солнца). Наличие в колебании многих гидрометеорологических явлений двух максимумов в 11-летнем цикле солнечной активности (5-6-летней цикличности) свидетельствует о том, что на тропосферные процессы воздействуют различные проявления солнечной активности. Одним из ведущих агентов возмущения атмосферы и стимуляции барико-циркуляционных процессов является корпускулярное излучение Солнца и прежде всего частицы высоких энергий. Изложенные особенности и временной ход условий генерирования и распространения в атмосфере Земли различных видов корпускулярной радиации Солнца во многом объясняют сложный характер солнечно-гидрометеорологических связей.

Если учитывать воздействие всех рассмотренных выше проявлений солнечной деятельности, то очевидно, что в ходе колебаний циркуляции атмосферы и гидрометеорологических элементов можно ожидать «четырехтактной работы» 11-летнего цикла солнечной активности:

— максимум вблизи максимума чисел Вольфа, обусловленный ультрафиолетовой и вспышечной корпускулярной радиацией Солнца;

— максимум на спаде видимой солнечной активности, обусловленной тропо-эффективными потоками частиц высоких энергий солнечного и космического происхождения (возможно и максимумом солнечной «постоянной»);

— максимум вблизи минимума чисел Вольфа, обусловленный рекуррентным корпускулярным излучением Солнца;

— максимум в фазе подъема видимой солнечной активности, обусловленной тропо-эффективными потоками частиц высоких энергий солнечного и космического происхождения (возможно и максимумом солнечной постоянной).

При таком подходе мы получаем в 11-летнем цикле не только 5-6-летнюю, но и 2-3-летнюю цикличность гидрометеорологических явлений. Представленная на основе чисто логических суждений картина относится к средним условиям. На различных фазах вековых и 22-летних циклов за счет смещения (или даже выпадения) максимумов, обусловленных тропо-эффективными потоками частиц высоких энергий (возможно, и максимумами солнечной постоянной) по отношению к максимумам другого происхождения, в ходе гидрометеорологических процессов, очевидно, должны наблюдаться различные вариации распада, наложения, объединения и исчезновения 2-3-летних, 5-6-летних и 10-12-летних солнечно-об-

условленных циклов. В действительности именно такая картина и имеет место в геофизических процессах, хотя здесь могут действовать и другие причины.

**Солнечно-тропосферные связи.** Несмотря на некоторую неясность механизма воздействия колебаний геоактивной радиации Солнца на атмосферные процессы, сам факт влияния солнечной деятельности на погоду и климат и наличие солнечно-обусловленной составляющей цикличности гидрометеорологических явлений в настоящее время можно считать установленным.

Как показали исследования Л. А. Вительса, В. Ю. Визе, Г. Я. Вангенгейма, А. А. Гирса, А. И. Каца, М. Ш. Болотинской, А. Я. Безруковой, Н. А. Белинского, И. В. Максимова, Б. М. Рубашева, М. С. Эйгенсона, Б. И. Сазонова и др. солнечная деятельность воздействует на погоду и климат через барическое поле Земли и общую циркуляцию атмосферы. Колебания солнечной активности приводят к изменению интенсивности и типа общей циркуляции атмосферы.

В то же время в силу внутренних закономерностей тропосферных процессов, инерции, автоколебаний, саморазвивающегося характера некоторых явлений, взаимодействия с океаном, влияния подстилающей поверхности суши атмосфера реагирует на колебания солнечной деятельности по-своему. Вследствие этого, а также наличия воздействия других внешних сил солнечно-тропосферные связи носят сложный характер.

На циркуляцию атмосферы и другие геофизические процессы оказывают влияние не только текущие воздействия внешних сил, но в некоторой мере и фон предшествующих лет, десятилетий и столетий, определяющий уровень воды и теплозапасов океана, ледовитости океана и оледенения суши и соответственно тепловой и водный баланс Земли.

Ввиду наличия в любой отрезок времени «остаточных» явлений, обусловленных предыдущими воздействиями внешних сил, сложных взаимодействий в атмосфере и гидросфере повторение внешних импульсов каждый раз должно вызывать несколько иную реакцию атмосферы.

Однако несмотря на эту сложность и многофакторность, определяющих внешне случайный характер тропосферных процессов, в их развитии прослеживаются некоторые общие закономерности и тенденции, обусловленные реакцией атмосферы на колебания солнечной активности.

Е. Е. Федоровым, В. Ю. Визе был сформулирован уточненный позднее (1948 г.) Л. А. Вительсом так называемый закон акцентации. Согласно этому закону, усиление солнечной активности вызывает усиление барических контрастов в тропосфере, т. е. углубление циклонов и возрастание мощности антициклонов. Последние работы Сазонова [71, 73], посвященные влиянию солнечной активности на высотные барические образования и через них на циклогенез и антициклогенез в нижних слоях тропосферы, обосновали этот закон с позиций воздействия частиц высоких энергий.

Согласно Сазонову, наибольшая возмущенность барического поля Земли имеет место при некоторых средних значениях (16—18) индекса магнитной возмущенности $K_p$ (и близких к средним значениям чисел Вольфа — Р. К.), т. е. в средней или нижней части фаз подъема и спада 11-летнего и векового циклов. В эти периоды развит цикло- и антициклогенез и междуширотный обмен воздуха максимален, что приводит к похолоданиям в зимнее время над большинством континентальных районов северного полушария. При очень малых и очень больших значениях индекса $K_p$ цикло- и антициклогенез и междуширотный воздухообмен ослаблены. Усиливается зональный перенос, выносящий тепло с океанов на материк, наступают потепления над большинством континентальных районов северного полушария в зимнее время.

По-видимому в этой связи И. В. Максимов, Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов [56] пришли к противоположному, на первый взгляд, (в отношении закона акцентации) выводу о том, что солнечная активность (при рассмотрении вопроса в многолетнем и вековом плане) не акцентирует, а, наоборот, ослабляет барические центры действия атмосферы. Однако несмотря на это расхождение исходных позиций, их выводы о характере изменения типов циркуляции атмосферы в 11-летнем и вековом цикле солнечной активности совпали со сделанными ранее выводами А. А. Гирса [29, 30, 31] и Л. А. Каца [42]. Л. А. Вительсом [23, 24], а затем М. Ш. Болотинской [13, 14, 15, 16] показано, что повторяемость основных форм циркуляции атмосферы, выделенных Вангенгеймом [19, 20], фазирована в 11-летнем цикле солнечной активности с определенными различиями, согласно Болотинской, в четных и нечетных циклах (рис. 3).

При этом ход повторяемости форм $W$, $E$ и $C$ имеет довольно сложный характер и не совпадает с ходом чисел Вольфа $W_0$. По Болотинской [16] это может быть объяснено тем, что на процессы меридиональной циркуляции оказывает влияние вид корпускулярного излучения Солнца, связанный не с пятнами, а с рекуррентными активными областями.

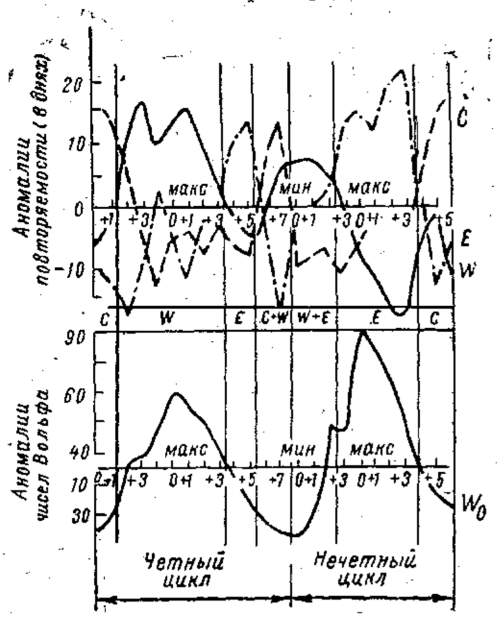



Рис. 3. Средняя аномалия повторяемости форм и типов циркуляции и чисел Вольфа в различные годы четного и нечетного 11-летних циклов солнечной активности. (по М. Ш. Болотинской и В. А. Белязо)

В работах Вангейма и

Гирса было показано, что в развитии атмосферной циркуляции отмечаются циркуляционные эпохи — длительные периоды, в течение которых преобладают (систематически превышают норму) одна или две формы циркуляции. Эпохи широтной циркуляции ($W$) сменяются эпохами меридиональной циркуляции ($E$, $C$ или $E+C$).

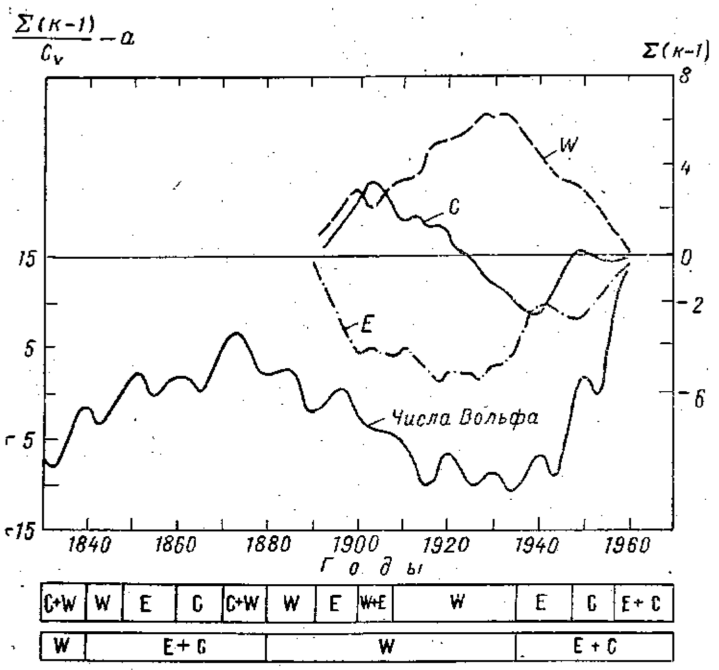



Рис. 4. Интегральные кривые чисел Вольфа и числа дней с типами циркуляции $W$, $E$ и $C$.
Внизу линейка многолетних и вековых циркуляционных эпох

А. А. Гирсом [29, 30, 31] и Л. А. Кацем [42] выявлена зависимость повторяемости форм атмосферной циркуляции и циркуляционных эпох от фаз векового цикла солнечной активности.

М. Х. Байдалом [9] определены границы циркуляционных эпох с 1803 г. Они с точностью один-два года совпадают с максимумами 11-летних циклов солнечной активности. Длительность этих эпох соответственно колеблется в пределах 8—13 лет.

Рост солнечной активности в вековом цикле, согласно Гирсу, сопровождается аномальным развитием меридиональной циркуляции атмосферы (тип $E + C$). Спад солнечной активности ведет к аномальному развитию зональной (широтной) циркуляции (тип $W$). Соответственно в фазе роста и максимума векового цикла преобладает циркуляция типа $E + C$ (со вспышками циркуляции типа $W$ в ходе 11-летних циклов). В фазе спада и минимума века-

вого цикла преобладает циркуляция типа $W$ (со вспышками циркуляции типа $E + C$ в ходе 11-летних циклов).

Закономерности изменения числа дней с типами атмосферной циркуляции в вековом ходе солнечной активности хорошо видны при сопоставлении соответствующих нормированных разностных интегральных кривых (рис. 4).

Результаты исследований развития циркуляции атмосферы по вековым фазам солнечной активности с учетом четных и нечетных 11-летних циклов приведены в работах Болотинской [14—16].

Изменение типа общей циркуляции атмосферы влечет за собой перераспределение тепла и влаги на земной поверхности. Конкретное проявление в формировании погоды и климата типа циркуляции в каждом районе определяется его солярным климатом и влиянием подстилающей поверхности. Чередование преобладающих типов циркуляции влечет за собой чередование во времени и пространстве теплых и холодных, сухих и влажных лет и многолетних периодов. Иначе говоря, колебания солнечной активности, опосредствованные через колебания атмосферной циркуляции, приводят к чередованию во времени и пространстве как бы взаимно компенсирующихся областей с положительными и отрицательными аномалиями. Этот процесс в многолетнем и вековом плане и обусловливает циклические колебания климата, имеющие в различных районах Земли разный знак (при одном и том же знаке солнечной активности).

Климатообразующая роль общей циркуляции атмосферы с учетом орографии и рельефа хорошо показана в работах Байдала на примере Казахстана [4, 5]. В частности, при одном и том же типе циркуляции величина и знак аномалии осадков неодинаковы на равнине и в горах, а в горных районах на хребтах (склонах) различной ориентации по отношению к влагонесущим потокам и на разных высотах. Этим в ряде случаев обусловлена асинфазность хода осадков и температуры воздуха в равнинных и горных районах.

Важное значение в формировании погоды и климата имеет не только тип, но и интенсивность атмосферной циркуляции, связанная как с солнечной активностью, так и с другими внешними факторами.

Ряд авторов считает, что солнечная деятельность оказывает влияние на атмосферные процессы погоды и климат не только через барическое поле и общую циркуляцию атмосферы, но и непосредственно. Изменения содержания ядер конденсации, турбулентности и электропроводности тропосферы под воздействием ультрафиолетового и корпускулярного излучения Солнца оказывают влияние на образование облачности, гроз, выпадение осадков и соответственно на температуру воздуха в приземном слое.

Согласно Е. П. Нею [92] уменьшение потока частиц высоких энергий, поступающих в атмосферу, ведет к уменьшению ее ионизации и проводимости, к усилению грозовой деятельности, увеличению облачности и к понижению температуры воздуха. Увеличе-

ние потока частиц высоких энергий ведет к обратным последствиям.

Колебания солнечной постоянной, если они имеют место, также должны воздействовать на погоду и климат не только через общую циркуляцию атмосферы, но и в сочетании с различными вариациями облакообразования непосредственно через радиационный баланс участков земного шара.

М. Х. Байдал [6—9] предложил учитывать непосредственное влияние солнечной деятельности на колебания гидрометеорологических элементов при составлении сверхдолгосрочных прогнозов климата и гидрологического режима, основанных на связи прогнозируемого элемента с прогнозируемой по солнечной активности повторяемостью типов атмосферной циркуляции. Роль этого влияния и величина соответствующих поправок определяются им путем последовательного исключения влияния типа атмосферной циркуляции и других факторов в фазы максимума солнечной активности в ее 11-летнем цикле.

Общая циркуляция атмосферы, как уже отмечалось, зависит не только от солнечной деятельности, но и от воздействия других внешних сил (приливообразующие силы, МПВЗ, скорость вращения Земли и др.) и внутренних закономерностей атмосферных процессов. Следовательно, связь циркуляции атмосферы с солнечной активностью носит сложный характер и может временами затушевываться или нарушаться.

С другой стороны, погода и климат конкретных районов определяются не только типом циркуляции атмосферы, но и другими факторами.

К таким факторам можно отнести:

1. Глубину (мощность) барических образований у поверхности Земли и интенсивность циркуляции.
2. Непосредственное воздействие солнечной деятельности на атмосферные процессы.
3. Вариации сочетаний положения полюса циркуляции, планетарно-высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) и типа циркуляции.
4. Вариации положения ложбин и гребней ПВФЗ внутри одного типа циркуляции.
5. Вариации места выноса и траектории движения (т. е. условий трансформации) циклонов и антициклонов внутри одного типа циркуляции.
6. Особенности внутригодового распределения типов циркуляции.
7. Локальные особенности взаимодействия циркуляции с подстилающей поверхностью.

Естественно, что указанные факторы могут затушевывать связь между повторяемостью типов атмосферной циркуляции и колебаниями гидрометеорологических явлений во времени и пространстве. На недостаточно тесную связь климатических показателей (в частности средней 10-летней температуры воздуха) с циркуляцией атмосферы указывали Е. С. Рубинштейн и Л. Г. Полозова [70].

Частицы высоких энергий, как уже отмечалось, являются одним из главных агентов солнечной деятельности, возмущающих атмосферу Земли. Наиболее благоприятные условия для тропо-эффективного облучения Земли этими частицами создаются при некоторых средних значениях солнечной активности и геомагнитной возмущенности (индексов $W$ и $K_p$). Из этого положения следуют такие выводы:

1. В ходе гидрометеорологических явлений 11-летней и вековой циклы солнечной активности должны распадаться на два цикла: соответственно 5-6-летний и полувековой (40—50 лет).

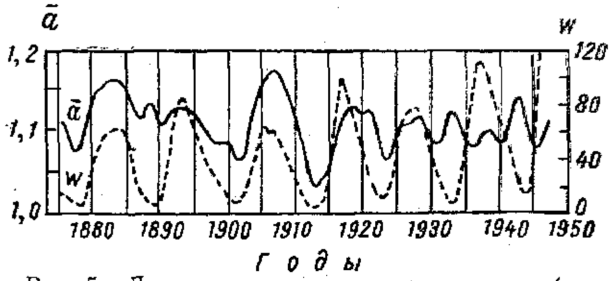



Рис. 5. Двухвершинность хода индекса $a$ (по М. С. Эйгенсону и И. А. Прокофьевой)

2. Солнечно-гидрометеорологические связи должны носить двойственный характер, обусловленный различной природой и временем проявления разных составляющих солнечной деятельности: в фазах подъема 11-летнего и векового циклов сначала должен иметь рост рассматриваемого элемента с ростом чисел Вольфа (индекса $K_p$), а затем спад при продолжении роста чисел Вольфа, в фазах спада — сначала рост, затем спад.

На различных вековых фазах солнечной активности максимумы и минимумы многолетних колебаний гидрометеорологических элементов, обусловленные воздействием частиц высоких энергий, будут приходиться на разные фазы 11-летнего цикла солнечной активности, т. е. по-разному сдвигаться по отношению к максимумам и минимумам 11-летнего цикла.

Многие солнечно-гидрометеорологические связи, полученные различными авторами, действительно имеют криволинейно-двойственный вид. Примером такой связи может служить связь годовых значений притока в Аральское море с числами Вольфа, полученная В. В. Голубцовым (см. статью в настоящем сборнике).

5-6-летняя цикличность выявлена во многих районах в ходе атмосферной циркуляции, атмосферных осадков, речного стока и т. д. Б. И. Сазоновым [73] показано наличие полувековой цикличности в ходе градиента давления. Возможно, что с указанным фактором связаны циклы Брикнера, 30-50-летние колебания уровней озер.

Ввиду существенного изменения диапазона колебаний солнечной активности в различных фазах вековых и сверхвековых циклов солнечной деятельности 5-6-летняя цикличность должна претерпе-

вать существенные изменения в эти фазы из-за различного сочетания времени наступления максимумов солнечной активности (волновой и частиц низких энергий) и тропо-эффективных потоков частиц высоких энергий.

Другой причиной расщепления 11-летних солнечных циклов на 5-6-летние, согласно Вительсу и Эйгенсону, является несогласованность (сдвижка фаз) хода индексов $W$ и $\bar{a}$ (рис. 5), обусловленная возмущающим действием векового цикла [22, 83].

Как известно, в 1920—1930 гг. отмечена смена знака или «утеря» многих солнечно-гидрометеорологических связей. Л. А. Вительс объяснил это тем, что в 1920-х годах произошла смена «нормальных» 11-летних солнечных циклов, в которых индекс $W$ изменялся более или менее синхронно с индексом $\bar{a}$, «аномальными», в которых эта синхронность сменилась асинхронностью или даже противофазностью. Вследствие этого в гидрометеорологических проявлениях солнечной деятельности с 1920—1930 гг. появилась двухвершинность 11-летних циклов и 5-6-летняя цикличность.

По мнению Сазонова и Логинова [73] причиной перелома связей в 1920—1930 гг. явилось резкое и сохранившееся до сих пор увеличение рекуррентных пятен на Солнце (т. е. доля рекуррентного излучения), связанное с фазой векового цикла корпускулярного излучения, что повлияло на напряженность магнитных полей в Космосе и на условия тропо-эффективного воздействия частиц высоких энергий.

Выше была отмечена синхронность хода индекса $\bar{a}$ и рекуррентного излучения Солнца в 11-летнем цикле и что индекс $\bar{a}$ может быть показателем этого излучения. В этой связи можно сделать вывод о том, что оба приведенных объяснения 5-6-летней цикличности и «перелома» связей в 1920—1930 гг. в действительности исходят из общей причины.

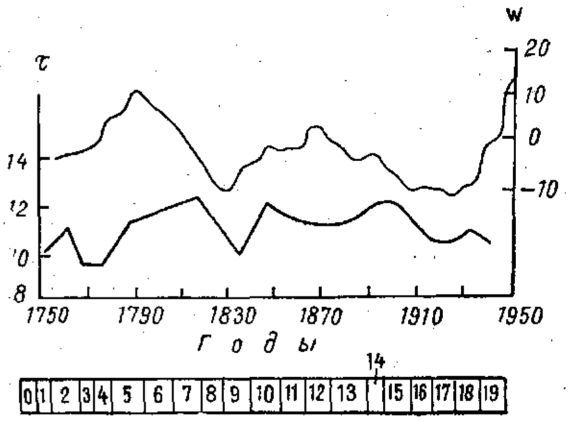



Рис. 6. Вековой ход солнечной активности (разностная интегральная кривая годовых значений чисел Вольфа) и периода 11-летнего цикла солнечной активности (годы).

На нижней шкале номера циклов

В этой связи представляется очевидным, что при построении солнечно-гидрометеорологических связей и составлении сверхдолгосрочных прогнозов необходимо учитывать не только значения

чисел Вольфа (индекс $K_в$), но и фазы 22-летнего и векового циклов солнечной активности.

Четко выраженная солнечно-обусловленная 11-летняя (10-12-летняя) цикличность в колебаниях гидрометеорологических элементов встречается сравнительно редко и не во все периоды. В большинстве случаев она осложняется 5-6-летней и 2-3-летней цикличностью, а также воздействием других внешних факторов и случайными колебаниями. Ввиду различной природы разных видов проявлений солнечной деятельности, изменения роли и сдвига относительно солнечной активности (запятненности) некоторых видов этих проявлений в различные фазы 22-летнего и векового циклов, 5-6-летние и 2-3-летние циклы солнечного происхождения то накладываются на 10—12-летние циклы, удлиняя их, то разбивают на более короткие. То же самое относится к соотношению 5-6-летних и 2-3-летних циклов.

Кроме того, сама продолжительность 11-летнего цикла солнечной активности, как известно, колеблется в пределах 7—15 лет. При этом в вековом ходе периоды более коротких циклов (9—10 лет) сменяются периодами более длинных (11—13 лет), периоды устойчивой продолжительности — неустойчивыми периодами (рис. 6).

В работах [28, 39, 51, 77] показано, что кроме основных (11-летних и вековых) солнечных циклов в атмосфере и гидросфере существуют также солнечно-обусловленные 2-3; 5-6; 8- и 14-летние циклы. Б. М. Рубашев, исследуя проявления солнечной деятельности в ледовитости Балтийского моря [69], показал влияние 22-летней цикличности на сдвиг фаз проявлений 11-летнего и 5-6-летнего циклов в четных и нечетных 11-летних циклах.

В четных циклах первый максимум ледовитости в среднем за 1720—1957 гг. наблюдается за один год до маскимума чисел Вольфа, второй через пять лет после него. В нечетных циклах первый максимум наступает через два года после максимума чисел Вольфа, второй, как и в четных циклах, через пять лет после этого максимума. Таким образом, при переходе от нечетного цикла к четному главный максимум ледовитости повторяется в среднем через 14 лет, а при переходе от четного к нечетному — через восемь лет. Вторичный максимум соответственно повторяется через шесть лет после главного в нечетном и через три года в четном циклах.

Указанное объяснение может служить физической интерпретацией и для объяснения 3-, 6-, 8- и 14-летней цикличности других элементов гидрометеорологического режима. При этом следует подчеркнуть, что эти выводы относятся к осредненным солнечным циклам. Период циклов элементов гидрометеорологического режима в реальных солнечных циклах должен колебаться в зависимости от фактического периода 11-летних циклов.

В результате в реальных условиях наиболее часто преобладает неправильная цикличность гидрометеорологических процессов и элементов с вариацией периода циклов от 2 до 17 лет. Циклические солнечно-обусловленные составляющие этих колебаний в та-

ких случаях прослеживаются лишь после скользящего сглаживания временного ряда, специальной статистической обработки или гармонического анализа. Во многих случаях значительно лучше прослеживаются непосредственно на хронологических графиках или на интегральных разностных кривых циклы более высоких рангов — внутривековые и вековые.

В качестве примера изложенного выше рассмотрим колебания стока р. Тентек (рис. 7). На хронологическом графике стока за 1932—1970 гг. сколько-нибудь выраженная 11-летняя цикличность стока не прослеживается из-за разбивки ее на 5-6-летние циклы и влияния 2-3-летней цикличности. В течение всего ряда наблюдений отчетливо проявляется тенденция увеличения водности реки, обусловленная фазой подъема векового цикла.

В период 1945—1962 гг. имели место три четких 5-6-летних цикла, осложненных в фазах спада 2-3-летними циклами. В каждом из них максимум 2-3-летнего цикла последовательно приближается к вершине 5-6-летнего и в третьем цикле сливается с ней. В последующие годы эта картина резко изменяется, и 5-6-летние циклы распадаются на 2-3-летние.

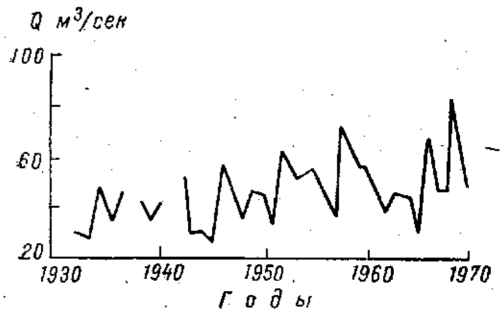



Рис. 7. Колебания стока р. Тентек

Как известно, по территории изменяется не только тип (знак) солнечно-гидрометеорологических связей, но и степень выраженности этих связей. В частности, это находит свое отражение в том, что периоды циклических колебаний существенно изменяются по территории, особенно это относится к многолетним и внутривековым ритмам. В одних районах наиболее четко выражена 10-12-летняя цикличность, в других —5-6-летняя, в третьих эти циклы вообще не выражены.

Это явление можно, по-видимому, объяснить следующими факторами:

1. Строением магнитного поля Земли, определяющим отмеченные выше условия проникновения частиц высоких энергий в атмосферу Земли и их непосредственного воздействия на тропосферные процессы.

2. Пространственным распределением барико-циркуляционного климата Земли.

3. Влиянием подстилающей поверхности (орография, рельеф, высота местности).

Ввиду отмеченной неодинаковой реакции погоды и климата различных географических районов на колебания солнечной активности Эйгенсон [83] предложил ввести понятие гелиоклиматической провинции, под которой подразумевается физико-географический

район, все участки которого в течение рассматриваемого интервала времени однородным образом реагируют на изменения солнечной активности. В первом приближении можно говорить о трех типах таких провинций по характеру солнечно-гидрометеорологических связей: прямом (увеличению солнечной активности соответствует увеличение значений рассматриваемых элементов или показателей процессов), обратном, или зеркальном (увеличению солнечной активности соответствует снижение значений рассматриваемых характеристик), и нейтральном (зависимость от солнечной активности отсутствует или не выражена).

По существу этим районам должны соответствовать районы с синфазными циклическими колебаниями климата и речного стока. Для территории СССР подобное районирование производилось многими авторами. Среди них можно отметить работы Т. Н. Кочуковой [47], А. Н. Афанасьефа [3], И. П. Дружинина, З. Л. Коноваленко, В. П. Кукушкина, Н. В. Хамьяновой [41], П. С. Кузина [48]. Как отметила Т. Н. Кочукова, выделенные районы колебаний стока в основном совпадают с климатическими районами Б. П. Алисова [1]. Из исследований этих авторов можно сделать выводы:

1. Границы районов с синфазными колебаниями лишь относительно устойчивы во времени.

2. Чем выше значение аномалии, тем более обширный район она захватывает (выдающиеся засухи и многоводья).

3. Чем выше ранг колебаний гидрометеорологических явлений, тем больше район синфазности этих колебаний и тем более устойчивы его границы.

В соответствии с этим число районов синфазных вековых колебаний оказалось меньшим, чем число районов синфазных внутривековых колебаний. Границы гелиоклиматических (гидросиноптических) районов во многом зависят от орографии территории.

В. В. Голубцовым [32] показано влияние на характер солнечно-гидрологических связей Уральских гор, гор Каратау. В целом территории Казахстана и Западной Сибири в вековом цикле относятся к обратному типу: в фазе подъема солнечной активности увеличивается повторяемость циркуляции типа $E + C$, уменьшается увлажненность территории и водность рек, в фазе спада уменьшается повторяемость типов $E+C$, увеличивается повторяемость типа $W$, увлажненность территории и водность рек. При типе $W$ на западных склонах хребтов, вытянутых в меридиональном направлении, наблюдается интенсивное выпадение осадков, что приводит к образованию за хребтами районов с пониженным количеством осадков. Соответственно в увлажнении этих районов повышается роль зональных типов циркуляции и тип связи меняется на прямой или нейтральный.

В последние десятилетия неоднократно отмечалось, что выявленные связи между солнечной активностью и гидрометеорологическими явлениями со временем нередко исчезают или меняют свой знак на обратный. В литературе имеются различные объяснения этого явления.

Л. А. Вительс, М. С. Эйгенсон [22, 83] и многие другие объясняют неустойчивость солнечно-гидрометеорологических связей в пространстве и времени законом акцентации, И. В. Максимов [56] — воздействием на циркуляцию атмосферы других внешних факторов, Сазонов [73] — изменениями напряженности магнитных полей в космосе и нелинейным (двойственным) характером связи между тропо-эффективным облучением Земли частицами высоких энергий и показателями солнечной активности и геомагнитной возмущенности в различных фазах векового цикла.

И. В. Максимов [55, 56] отметил, что при отфильтровывании влияния других факторов (приливообразующие силы, МПВЗ, скорость вращения Земли) полученные им связи атмосферной циркуляции, температуры и ледовитости океана с солнечной активностью всегда сохраняли свою устойчивость и знак.

Основными факторами неустойчивости солнечно-гидрометеорологических связей в настоящее время можно считать рассмотренные выше особенности воздействия солнечной деятельности в различных фазах векового цикла (двойственность связей и сдвиги фаз различного происхождения) и влияние других внешних сил.

Нарушение или затушевывание солнечно-гидрометеорологических связей в отдельных районах, очевидно, может вызываться также теми причинами, которые были изложены выше для солнечно-циркуляционных и циркуляционно-гидрометеорологических связей. По-видимому, не во всех случаях фильтрация воздействия других внешних сил может исправить положение.

Изложенное выше показывает, что речь идет не об исчезновении в тот или иной период этих связей или о недостоверности наших знаний о роли солнечной деятельности, а лишь о сложности и многофакторности процесса, о необходимости учета этой многофакторности при анализе и практическом использовании солнечно-гидрометеорологических связей.

Выявление и анализ солнечно-гидрометеорологических связей производится с помощью следующих приемов:

— сопоставления совмещенных хронологических графиков и разностных интегральных кривых солнечной активности исследуемого элемента (показателя);

— сопоставления переломов в ходе кривых солнечной активности и исследуемого элемента;

— определения фазовых сдвигов колебаний исследуемого элемента с периодами, близкими к периодам солнечных циклов;

— построения совмещенного графика хода осредненных за весь период наличия данных значений солнечной активности и исследуемого элемента в изучаемом цикле солнечной активности;

— корреляции годовых значений исследуемого элемента с межгодовыми приращениями индексов солнечной активности;

— корреляции годовых значений или интегральных сумм этих значений исследуемого элемента с соответствующими значениями индексов солнечной активности с учетом фазового сдвига;

— расчета взаимных корреляционных и спектральных функций и др.

Для указанных целей используются индексы солнечной активности $W$ и $\bar{a}$, индексы геомагнитной возмущенности $K_p$, $A_p$ и др., а также переломные точки в ходе чисел Вольфа, предложенные В. Ф. Чистяковым [79]. В оптимальном варианте для исследования короткопериодных и внутривековых циклов целесообразно параллельно использовать индексы $W$ и $\bar{a}$ или $W$ и $K_p$.

Значения исследуемого элемента в необходимых случаях осредняются (сглаживаются) по скользящим 3-, 5- или 7-летхам или с помощью биноминального фильтра [66] для исключения влияния короткопериодных (2-3-, 5-6-летних) и случайных колебаний и повышения тесноты корреляции.

Программы для расчетов на ЭВЦМ взаимных корреляционных и спектральных функций исследуемого элемента и индексов солнечной активности (геомагнитной возмущенности) могут быть составлены по методике Тьюки [86]. Опыт применения взаимных корреляционной и спектральной функций для выявления солнечно-гидрометеорологических и солнечно-циркуляционных связей и обусловленных ими циклических составляющих для стоковых рядов приведен в работах [33, 67].

При анализе полученных связей необходимо оценивать их устойчивость и характер по фазам циклов более высоких рангов, выявлять периоды и причины нарушений (отклонений), возможную роль других факторов. Параллельно с солнечной активностью желательно использовать сопоставление или связи с общей циркуляцией атмосферы, линейку циркуляционных эпох.

Выделение влияния других внешних факторов на временный ряд исследуемого элемента производится следующим образом:

— с помощью анализа спектра колебаний, содержащихся в ряду, полученного на основе методов частотного анализа;

— путем сопоставления хода исследуемого элемента с ходом солнечной деятельности и других внешних факторов;

— по периодам колебаний, не совпадающих с периодами колебаний солнечной деятельности (особенно в фазы ослабления солнечной деятельности);

— путем анализа аномального, по сравнению с солнечной деятельностью, хода исследуемого элемента;

— по наличию и величине аномалий исследуемого элемента в периоды средних значений солнечной деятельности;

— путем фильтрации (исключения или подавления) колебаний с периодами, близкими к периодам колебаний других внешних факторов, методом скользящего осреднения или биноминального фильтра.

Фильтрация повышает тесноту и устойчивость солнечно-гидрометеорологических связей. Учет роли других факторов при составлении прогнозов производится либо с помощью множественной корреляции, либо с помощью поправок, определяемых по величине отклонения исследуемого элемента от средних значений в периоды

средних значений солнечной деятельности и экстремальных значений другого фактора.

При анализе аномалий исследуемого элемента необходимо учитывать сдвиг фаз различных составляющих солнечной радиации, условий магнитных полей Земли и космоса с учетом вековых фаз солнечной активности, которые могут обусловливать распадение 10-12-летних циклов на 5-6-летние и различного наложения 2-3-летних циклов в ходе исследуемого элемента, т. е. осложнять с учетом случайных вариаций ход исследуемого элемента и без влияния других факторов.

Как показали исследования Дружинина, Коноваленко, Кукушкиной, Хамьяновой [40, 41, 78], переломам в ходе солнечной активности соответствует (± 1 год) 98—100% переломов в ходе гидрометеорологических элементов (осадки, температура воздуха, речной сток), при этом солнечно-обусловленные переломы составляют около 40% общего числа переломов в ходе гидрометеорологических явлений. Отсюда делается вывод, что гидрометеорологические процессы, безусловно, частично управляются солнечной деятельностью.

А. И. Давыдова [33] на основе спектрального анализа 100 стоковых рядов северного полушария показала, что на долю 2-, 5-, 7- и 11-летних солнечно-обусловленных циклов речного стока приходится около 1/3 общей дисперсии процесса (наибольший вклад при этом обеспечивается 11-летней составляющей). Остальные 2/3 дисперсии ряда, по ее мнению, следует отнести за счет нерегулярных случайных колебаний и ошибок определения (шумов).

В действительности, если учесть роль частиц высоких энергий и двойственный характер солнечно-гидрометеорологических связей, сдвиг фаз, распадение и наложение циклов, степень солнечной обусловленности гидрометеорологических процессов должна быть существенно выше, чем это проявляется при сопоставлении хода чисел Вольфа (запятненности Солнца) с ходом гидрометеорологических явлений и при формальном применении частотного анализа.

Различными авторами получены локальные связи с солнечной активностью для ряда элементов гидрометеорологического режима. Во многих случаях, как и следовало ожидать, полученные связи оказывались нелинейными. В некоторых случаях получены корреляционные связи с высоким коэффициентом корреляции. Однако, исходя из показанного выше сложного характера проявлений солнечной деятельности и воздействия других факторов, не следует переоценивать тесноту полученных связей или ожидать всегда и везде четкой выраженности солнечных циклов [83].

С другой стороны, те или иные авторы, игнорируя сложный характер проявления солнечной деятельности и опосредствование связей через циркуляцию атмосферы и не получив однозначных результатов при формальном подходе к построению связей и применению частотного анализа, делают выводы об отсутствии солнечно-гидрометеорологических связей или солнечно-обусловленной ритмики в ходе гидрометеорологических элементов.

В качестве одного из характерных примеров можно привести

статью А. В. Рождественского по вопросу оценки солнечно-гидрологических связей [67]. В статье автор пытался установить связь среднего годового стока Днепра с солнечной активностью (числами Вольфа) на основе взаимных корреляционных и спектральных функций с применением ЭЦВМ. При этом 2-3-летние и 5-6-летние колебания стока ввиду отсутствия такой ритмики в ходе солнечной активности рассматривались как не связанные с солнечной деятельностью (что неверно) и предварительно исключались из исследуемого ряда с помощью биноминального фильтра.

Автором получены следующие выводы:

— определенная закономерность в ходе сглаженных значений стока и чисел Вольфа отсутствует, согласованность в их ходе в отдельные короткие периоды, по-видимому, является лишь случайным совпадением;

— в различные календарные отрезки стокового ряда период колебания резко различен, в связи с чем с увеличением продолжительности принятых в расчет выборок амплитуда колебаний эмпирических взаимных корреляционных функций заметно уменьшается; при $n \to \infty$ коэффициент корреляции $R_{QW}(\tau)$ будет стремиться к нулю, что говорит об отсутствии связи между речным стоком и числами Вольфа;

— эмпирические и спектральные взаимные корреляционные функции между динамическими средними стоками и числами Вольфа, рассчитанные по выборкам ограниченной продолжительности, отражают лишь свойства этих выборок и не могут рассматриваться в качестве характеристик, присущих генеральной совокупности;

— скорее всего, что эти функции отражают лишь случайные флуктуации среднечастотных (11-летних) колебаний стока и чисел Вольфа, зависящие от продолжительности выборки и начала отсчета;

— статистические методы при существующей продолжительности наблюдений не в состоянии дать определенный ответ о наличии солнечно-гидрологических связей.

В свете изложенного выше нетрудно заметить, что эти выводы носят формальный характер и основаны на отсутствии учета особенностей проявления в гидрометеорологических процессах различных аспектов солнечной деятельности в фазы 22-летнего и векового циклов солнечной активности. По существу же они косвенно подтверждают наличие этих особенностей и сложный характер солнечно-гидрометеорологических связей. Заметим также, что при достаточной длине ряда наблюдений корреляция между стоком (или любым другим гидрометерологическим элементом) и числами Вольфа не исчезнет, а приобретает (как и состав спектра колебаний) закономерно повторяющийся характер (в соответствии с фазами 22-летних и вековых циклов.

Поскольку солнечная деятельность воздействует на погоду и климат преимущественно через циркуляцию атмосферы, а последняя отражает суммарное воздействие всех внешних сил, то в принципе наиболее правильным является трехсторонний подход к

построению связей и составлению сверхдолгосрочных прогнозов: солнечная активность → циркуляция атмосферы → исследуемый элемент гидрометеорологического режима.

**Солнечно-гидрологические связи.** Реки и озера являются функцией климата и подстилающей поверхности, поэтому все изложенное выше о солнечно-тропосферных (солнечно-климатических связях) в принципе относится и к солнечно-гидрологическим связям. Причинно-следственная цепочка здесь удлиняется на одно или два звена: солнечная активность → циркуляция атмосферы → климат → реки → озера. Основное отличие заключается здесь в значительно большей роли подстилающей поверхности и особенно деятельности человека.

В исследовании солнечно-гидрологических связей наибольшее распространение получили связи с солнечной активностью речного стока и уровней озер (через циркуляцию атмосферы и непосредственные). Рассмотрим некоторые особенности этих связей.

Атмосферные осадки трансформируются в речной сток через водный баланс бассейна, включающий баланс поверхностных и подземных вод. Водный баланс определяется, с одной стороны, комплексом метеорологических условий (осадки и факторы испарения — температура, ветер и влажность воздуха), и, с другой свойствами самого бассейна (рельеф, почво-грунты, растительность, гидрогеологические условия).

Часть осадков может накапливаться в бассейне в виде запасов воды в снежном покрове (в умеренном и холодном климате), в ледниках, озерах, болотах; в виде почвенных и грунтовых вод, что обусловливает разрыв во времени между приходом и расходом влаги, т. е. естественную сезонную и многолетнюю зарегулированность стока.

Существенные различия имеют горные реки с ледниковым питанием и равнинные реки, расположенные в том же районе (а также верховья и низовья рек). В теплые и сухие фазы циклических колебаний климата увеличивается ледниковое питание горных рек. Кроме того, как уже отмечалось выше, при одном и том же типе циркуляции знак аномалии осадков на равнине и в горах может не совпадать.

Осадки, выпадающие в холодный период года в высоких и умеренных широтах, участвуют в питании рек в весенний или весенне-летний (в горных районах) периоды. Объем половодья зависит не только от запасов воды в снеге, но и от распределения температур воздуха и осадков в осенний, зимний и весенний периоды. Осеннее увлажнение почвы перед установлением снежного покрова в условиях степной и полупустынной зон, определяющее смерзание (цементацию) почвы, и характер погодных условий в период весеннего снеготаяния через коэффициент стока играют в определении величины объема половодья в ряде случаев большую роль, чем запасы воды в снеге. Эти обстоятельства нарушают связь между годовыми суммами стока и осадков.

При этом следует подчеркнуть, что в условиях рассматривае-

мых зон объем половодья и годового стока зависит от времени чередования волн тепла и холода, выпадания осадков в осенний и весенний периоды в интервалах нескольких декад или даже дней, что придает годовым значениям речного стока значительно более случайный характер, чем у годовых значений метеорологических элементов. Если годовая сумма осадков (температур) или сумма осадков (температур) за холодный период года в многолетнем цикле относительно закономерна, то выпадение отдельного дождя (наступление похолодания) сегодня или через несколько дней — случайное явление, зависящее от множества причин. Таким образом, многолетняя изменчивость стока определяется сочетанием закономерных многолетних тенденций со случайными внутригодовыми распределениями осадков и температуры воздуха.

Изложенные особенности формирования речного стока обусловливают:

1. Сдвижку экстремумов и фаз циклических колебаний по сравнению с метеорологическими элементами.

2. Несколько большую затушеванность и неустойчивость солнечно-гидрологических связей по сравнению с солнечно-метеорологическими связями в коротких циклах.

3. Разнообразие связей по территории.

При этом на реках, имеющих значительную естественную зарегулированность стока общая выраженность главных солнечных циклов в некоторых случаях может быть выше, а солнечно-гидрологические связи теснее, чем у метеорологических элементов или рек со слабой зарегулированностью.

Крупные реки типа Волги, Дуная и больших сибирских рек имеют бассейны, расположенные в нескольких гелиоклиматических (гидросиноптических) провинциях, что делает несравнимым колебания стока в верховьях и низовьях этих рек.

Интенсивный рост потребления речного стока (орошение и промышленное водоснабжение) создает направленную тенденцию к уменьшению стока многих рек. Сочетание вековой или внутривековой фазы естественного увеличения водности с ростом водопотребления может на определенном этапе маскировать эту тенденцию. Или, с другой точки зрения, рост водопотребления может маскировать рост естественной водности.

В фазе спада естественной водности, наоборот, уменьшение стока вследствие водохозяйственного использования реки может преувеличиваться. Крупные водохранилища многолетнего регулирования сглаживают или даже снимают коротколериодные многолетние циклические колебания речного стока ниже створа плотины.

Поэтому для построения солнечно-стоковых связей и прогноза будущих колебаний стока должны использоваться либо не искаженные данные наблюдений за стоком выше водозаборов и водохранилищ, либо восстановленные величины естественного стока.

Согласно исследованиям Г. П. Калинина [43], в масштабе всего северного полушария преобладает 2-3-, 5-6-, 10-12- и 20—24-летняя цикличность речного стока, что свидетельствует о солнечной обу-

словленности его колебаний. На ряде рек отмечены циклы полувекового и векового порядка.

Степень выраженности и средний период колебаний уровней озер в различных районах весьма разнообразны. А. В. Шнитников [80, 81] считает основным ритмом внутривековых колебаний уровней озер полуаридной зоны 20—50-летний, для северных озер ритм более короткой продолжительности.

На озерах Швеции (Меларен, Веттерн, Венерн) в течение более чем 100—150-летнего периода наблюдается четкая 11-летняя цикличность с обратным типом связи с солнечной активностью. На Мазурских озерах в Белоруссии отмечается 13—20-летняя цикличность. На Каспийском море до 1920—1930 гг. была наиболее выражена 10—12-летняя цикличность, позднее — 5-6-летняя. На Аральском море наиболее выражена 10-12- и 20—24-летняя цикличность и в меньшей мере 5-6-летняя. На озерах Балхаш и Алаколь наиболее выражены 50—60-летние внутривековые (полувековые) циклы и в меньшей степени 3—7- и 10—12-летняя цикличность. По историческим и геоморфологическим данным на ряде озер прослеживаются сверхвековые и многовековые циклы.

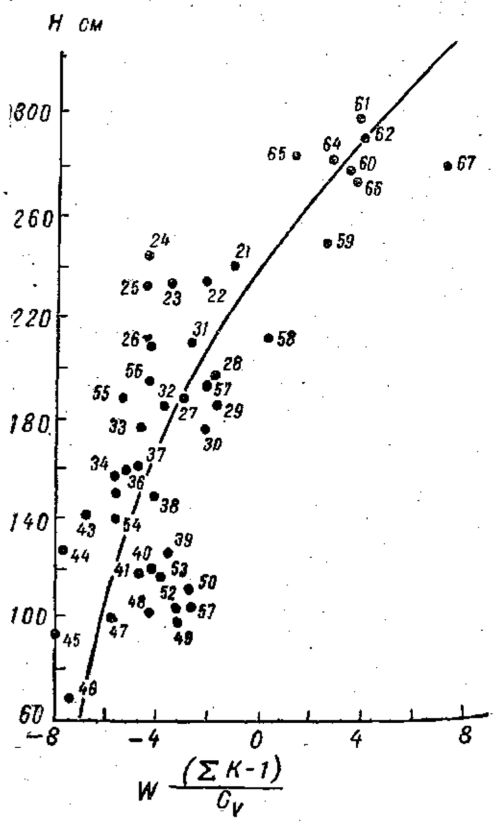



Рис. 8. Связь уровня оз. Балхаш с солнечной активностью (числа Вольфа), выраженной в виде интегральных отклонений от нормы (со сдвижкой на 10 лет назад) за 1911—1967 гг.

Период и амплитуда солнечно-обусловленных и других циклических колебаний на озерах зависит, с одной стороны, от рассмотренных условий формирования речного и подземного стока и, с другой стороны, от сточности озера, емкости (отношению к среднемноголетнему объему притока) и формы озерной котловины. Последняя определяет «реактивный фактор», т. е. степень изменения площади водного зеркала и объема видимого испарения при изменении уровня водоема. На мелководных водоемах с пологими склонами котловины амплитуда и период колебаний будут меньше, чем у глубоководного водоема с крутыми склонами.

Соответственно в первом случае максимум и минимум цикла будут наступать раньше, чем во втором.

Принципиальное различие в колебании уровней имеет место для водоемов 1-2-летнего и многолетнего наполнения. В первом случае уровень озера определяется водным балансом текущего и

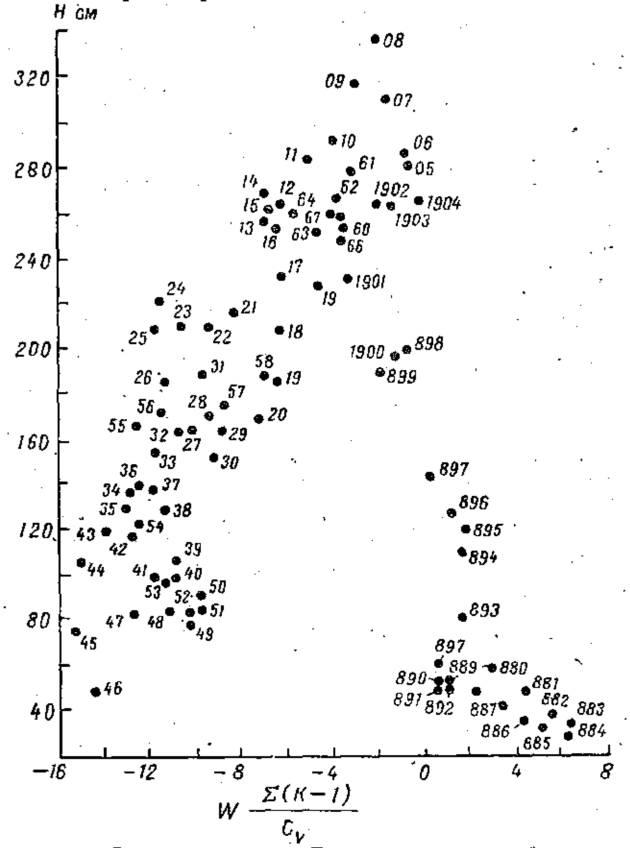



Рис. 9. Связь уровня оз. Балхаш с солнечной активностью (числа Вольфа), выраженной в виде интегральных отклонений от нормы (со сдвижкой на 10 лет назад по отношению к уровню) за 1879—1967 гг.

предшествующего года, во втором — приращением уровня за ряд лет, т. е. уровень озер многолетнего наполнения является интегральной характеристикой предшествующих климатических условий.

В первом случае солнечно-уровенные связи могут определяться по годовым значениям чисел Вольфа (индекса геомагнитной возмущенности) и годовым значениям уровня (или притока в озеро). Во втором случае годовые уровни воды должны связываться с интегральной суммой отклонений годовых чисел Вольфа (или другого фактора) от нормы (рис. 8, 9), а переломы уровня сопоставляться с переломами разностной интегральной кривой чисел Вольфа.

Возможен и другой подход к прогнозу колебаний уровня водоема — по связи с солнечной активностью, учитывающей реактивный фактор: по связи с солнечной активностью прогнозируется приток в водоем за каждый последующий год, затем с помощью решения упрощенного уравнения водного баланса определяется приращение объема воды в озере, для которого методом последовательного подбора определяется площадь и уровень (по кривой площадей и объемов) на начло следующего года и т. д. Этот прием предложен и применен Голубцовым для прогноза уровней Аральского моря (см. статью в настоящем сборнике). Изложенное относится и к связям уровней озер с циркуляцией атмосферы.

Основными факторами колебаний уровня бессточных водоемов является речной приток и испарение с водной поверхности водоема. Если водоем расположен на равнине, а область питания в горах, то следует учитывать возможную асинхронность колебаний климата в горах и на равнине. В подобных случаях точность прогноза уровня повысится, если будет использована связь с солнечной активностью не только притока, но и испарения или его приближенного показателя — температуры воздуха.

Как показали исследования Р. М. Хайдарова [76], в ходе циклического развития русловой сети речных дельт в зависимости от русловой или озерной фазы этого развития существенно изменяется связь между притоком воды в дельту и потерями стока на суммарное испарение (т. е. относительная величина потерь), что отражается на колебании уровня таких водоемов как Балхаш, Арал. Соответственно этот фактор может отражаться на тесноте солнечно-уровенных связей или даже нарушать их в те или иные периоды. При прогнозах уровней водоема на много лет вперед целесообразно учитывать ожидаемую фазу развития дельты главного притока.

В связи с интенсивным развитием орошаемого земледелия в южных районах страны прогноз будущего хода уровня водоемов в этой зоне должен состоять из двух частей: прогноза естественного хода уровня по связи с солнечной активностью и другими факторами и накладываемого на него ожидаемого уменьшения притока (по годам) вследствие безвозвратных потерь на орошение и другие водохозяйственные мероприятия. Примером такого подхода могут служить прогнозы будущего хода уровней Аральского моря, составленные ГОИНом [54, 65] и КазНИГМИ (настоящий сборник).

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Солнечная деятельность является одним из ведущих факторов колебаний погоды, климата и гидрологического режима. Несмотря на сложный характер тропо-эффективного проявления солнечной деятельности и солнечно-гидрометеорологических связей, эти связи при надлежащем анализе с учетом других факторов могут быть выявлены и являются мощным средством изучения и прогноза колебаний атмосферной циркуляции и гидрометеорологического режима.

2. В то же время нельзя переоценивать роль солнечной активности, делать ее одну ответственной за все колебания циркуляции атмосферы, климата и гидрологического режима, упрощенно подходить к солнечно-гидрометеорологическим связям.

3. Изменение знака солнечно-гидрометеорологических связей и их видимое «исчезновение» в те или иные периоды времени имеет свои закономерные причины и означает, как отметил Эйгенсон [83], лишь изменение формы проявления этих связей.

4. Поскольку эти изменения связаны с фазами многоритмических колебаний солнечной активности и воздействием на атмосферу других внешних сил, имеющих также ритмический характер, то они в принципе могут быть выявлены и учтены.

**Прогнозы будущих колебаний климата.** Значение чисел Вольфа и некоторых других индексов прогнозируются различными авторами на десятки лет вперед [9, 17, 27, 83]. Это создает принципиальную возможность сверхдолгосрочного прогнозирования циркуляции атмосферы (циркуляционных эпох), колебаний климата и гидрологического режима на основе связей, выявленных за прошедший период времени.

Для сверхдолгосрочных прогнозов используются как солнечно-циркуляционно-гидрометеорологические, так и солнечно-гидрометеорологические связи. Использование трехсторонних связей, требует обоснованного прогноза общей циркуляции атмосферы (типа и интенсивности) и ее локальных особенностей, что связано с необходимостью учета влияния других внешних факторов, а также взаимодействия с океаном и с подстилающей поверхностью суши. Ввиду сложности учета всех факторов, определяющих циркуляцию атмосферы и ее локальных проявлений, на практике часто применяются двухсторонние солнечно-гидрометеорологические связи.

Их обоснованность обеспечивается в тех случаях, когда колебания прогнозируемого элемента в рассматриваемом районе имеют достаточно четко выраженную солнечно-обусловленную циклическую составляющую и известны закономерности ее проявления в фазы вековых циклов солнечной активности.

На наш взгляд, даже общая фоновая оценка характеристик климата и водных ресурсов в ближайшие десятилетия, основанная на прогнозе преобладающего типа циркуляции в связи с вековой фазой солнечной активности и ранее выявленном погодо-климатопроявлении этого типа циркуляции в том или ином районе, имеет существенное народнохозяйственное значение.

Наиболее перспективным путем анализа и прогноза колебаний климата и водных ресурсов является применение комплексно-компонентного метода, основанного на выявлении и учете роли всех основных факторов и их фаз, определяющих циркуляцию атмосферы и колебания гидрометеорологического режима, с применением статистического и генетического анализа, многосторонних связей и множественной корреляции.

Первые попытки в этом направлении уже имеются. Среди них

следует отметить исследования Максимова [55] и Байдала [8, 9]. И. В. Максимов разработал метод сверхдолгосрочного прогноза основных форм циркуляции атмосферы в северном полушарии, учитывающий фазу векового цикла солнечной активности, 19-летний ритм приливообразующих сил, 6-7-летний ритм МПВЗ и 3-4-летний ритм скорости вращения Земли.

М. Х. Байдал при сверхдолгосрочном прогнозировании элементов гидрометеорологического режима учитывает прогнозируемые по солнечной активности основные формы атмосферной циркуляции, непосредственное влияние солнечной активности (поправки на фазы максимума и минимума 11-летнего цикла), фазу колебаний МПВЗ и положение полюса циркуляции атмосферы.

Ввиду различной степени выраженности и устойчивости солнечно-гидрометеорологических связей и солнечно-обусловленной цикличности по территории перспективным путем для прогнозирования будущих колебаний климата и гидрологического режима являются, как отмечал Калинин [43], использование обобщенных надежная реставрация климата косвенными методами за период пространственно-временных закономерностей колебаний гидрометеорологического режима и метода мировой погоды, предложенного Визе и основанного на сопряжении разновременно происходящих в различных районах земного шара процессах и учете закономерностей фазовых сдвигов этих процессов в одних районах по отношению к другим.

Необходимо отметить еще два условия успешного решения этой проблемы. Одним из них является необходимость учета фаз сверхвековых и многовековых колебаний. Ввиду ограниченности имеющихся рядов гидрометеорологических наблюдений необходима надежная реставрация климата косвенными методами за период в несколько столетий или еще лучше нескольких тысячелетий с использованием данных о толщине годовых колец деревьев, слоистости и химическом составе озерных отложений, исторических и геоморфологических данных о колебаниях уровней озер, наступании и отступании ледников в увязке с периодами колебаний солнечной активности, приливообразующих сил, извержения вулканов и других климатообразующих факторов.

Имеется множество работ по данному вопросу. Среди них особое место занимают обобщающие исследования о колебаниях увлажненности материков Шнитникова [80—82]. Однако почти все они носят характер качественной оценки. Важным средством количественной реставрации колебаний климата и речного стока может служить восстановление уровней бессточных водоемов по историческим и геоморфологическим данным. Исследования по восстановлению колебаний уровней в той или иной степени выполнены для Каспийского моря [2], Аральского моря [11, 53], оз. Балхаш [50], оз. Алаколь [49] и некоторых других. Представляется необходимым существенно расширить эти исследования и приступить к использованию их результатов для количественной оценки колебаний климата.

Важное значение имела бы реставрация основных форм атмосферной циркуляции за период наличия данных о колебании солнечной активности (т. е. за всю телескопическую эпоху).

Как показано рядом авторов, деятельность человека уже сказывается на климате Земли. В ближайшие десятилетия влияние этой деятельности будет неизменно возрастать. Однако в прогнозах климата этот фактор в настоящее время еще не учитывается из-за отсутствия обоснованных количественных расчетов суммарного воздействия деятельности человека.

Подводя итог рассмотренному выше, следует отметить, что нельзя переоценивать надежность прогнозов колебаний климата и водных ресурсов, основанных только на связях с солнечной активностью за прошедший период времени без учета фазы векового цикла и влияния других внешних факторов, которые могут нарушать (видоизменять) эти связи в будущем.

В то же время наличие закономерностей (ритмичности) изменений во времени солнечной деятельности и других внешних факторов, определяющих циклический характер колебаний гидрометеорологического режима, создает научную основу для сверхдолгосрочных прогнозов (оценки тенденции) этих колебаний.

Учет этих закономерностей, а также влияния деятельности Человека — единственный возможный путь научного предвидения будущих колебаний и изменений климата и водных ресурсов. Такого предвидения властно требуют интересы долгосрочного прогнозирования и перспективного планирования народного хозяйства.

Скептическое отношение к возможности сверхдолгосрочного прогнозирования климата и водных ресурсов, помимо отмеченной неустойчивости некоторых солнечно-гидрометеорологических связей, обосновывается нередко и такого рода доводами: «Как известно, оправдываемость прогнозов погоды уменьшается с увеличением их заблаговременности (сутки, 3—10 дней, месяц). Если мы не научились составлять надежные прогнозы на месяц, то можно ли говорить о прогнозах на несколько лет или десятилетий вперед?». В такой постановке вопроса имеет место непонимание коренных различий в принципиальных основах долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов, прогноза погоды и прогноза климата.

В основе современных синоптических методов долгосрочного прогноза погоды лежат экстраполяция атмосферных процессов с учетом внутренних закономерностей их развития и подбор лет-аналогов.

Принципиальной основой сверхдолгосрочного прогноза является учет воздействия на атмосферные процессы внешних сил, изменения которых во времени имеют закономерно периодический или циклический характер и соответственно могут быть рассчитаны на десятилетия или столетия вперед. При этом во втором случае речь идет не о предвидении конкретных характеристик погоды по сезонам, месяцам, или декадам, а лишь об основных многолетних и вековых тенденциях в преобладании тех или иных аномалий погоды, т. е. о колебании климата.

Как известно, закономерности случайных вариаций причинно-обусловленных явлений (т. е. закономерности статистического характера) проявляются лишь при достаточно большом числе случаев. Чем короче рассматриваемые интервалы времени (в многолетнем плане), тем больше элементов случайности в погодо- и климатообразующем проявлении воздействия внешних сил. Чем длиннее эти интервалы, тем более четко проявляется закономерность в случайных колебаниях. Это логическое положение подтверждается тем, что многие солнечно-гидрометеорологические и циркуляционно-гидрометеорологические связи достаточно тесно проявляются лишь при интегральной форме выражения, а также тем, что циклы высоких рангов (вековые, многовековые) проявляются более четко и на более обширных территориях, чем циклы низких рангов.

Учитывая сложный характер проявления солнечной деятельности, наложение влияния других внешних сил, взаимодействие атмосферы и океана, роль подстилающей поверхности, приближенность прогнозов солнечной активности и влияние деятельности Человека, сверхдолгосрочные прогнозы следует на современном этапе рассматривать лишь как приближенную оценку будущих тенденций колебаний климата и водных ресурсов.

По мере создания физической теории климата и разработки математических моделей, учитывающих указанные воздействия и внутренние связи, надежность сверхдолгосрочных прогнозов в будущем будет несомненно увеличиваться. Это позволит решить поставленную самой жизнью задачу составления надежных прогнозов колебаний климата и водных ресурсов на конкретные сроки перспективного народнохозяйственного планирования (5, 10, 20 и более лет).

ЛИТЕРАТУРА


1. Алисов Б. П. Климат СССР. МГУ, 1956.
2. Аполлов Б. А. Колебания уровня Каспийского моря. Труды Института океанологии, т. XV, 1956.
3. Афанасьев А. Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. Наука, М., 1967.
4. Байдал М. Х. Погодные и климатические характеристики основных форм атмосферной циркуляции. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1963.
5. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. I и II. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
6. Байдал М. Х. О структуре влияния солнечной активности на атмосферные осадки. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
7. Байадал М. Х. К вопросу о масштабах и формах реализации влияния солнечной активности. Труды КазНИГМИ, вып. 38, 1969.
8. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. Труды КазНИГМИ, вып. 36, 1970.
9. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
10. Белинский Н. А., Калинин Г. П. О прогнозе колебаний уровня Каспийского моря. Труды НИУ ГУГМС, серия 4, вып. 37, М.—Л., 1946.
11. Берг Л. С. Аральское море. Изв. ТОРГО, т. V, Спб, 1908.
12. Беспрозванная А. С., Сазонов Б. И. Взрывные потепления в зимней стратосфере и солнечная активность. Труды ААНИИ, т. 289, 1969.
13. Болотинская М. Ш., Слепцов Б. А. О влиянии солнечной активности

на многолетние изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции. Сб. «Проблемы Арктики и Антарктики», вып. 18, Гидрометеоиздат, Л., 1964.
14. Болотинская М. Ш. К вопросу о связи изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции с солнечной активностью. Сб. «Проблемы Арктики и Антарктики», вып. 20, Гидрометеоиздат, Л., 1965.
15. Болотинская М. Ш., Оль А. И. О связи повторяемости меридиональных форм атмосферной циркуляции с корпускулярным излучением Солнца. Сб. «Проблемы Арктики и Антарктики», вып. 32, Гидрометеоиздат, Л., 1969.
16. Болотинская М. Ш., Белязо В. А. Влияние солнечной активности на формирование циркуляционных эпох и их стадий. Труды ААНИИ, т. 289, 1969.
17. Бочов А. Д. Прогноз 11-летних циклов № 20, 21, 22 солнечной активности. Солнечные данные, бюлл. № 10, 1967.
18. Бугаев В. А. Двухлетний цикл циркуляции в экваториальной стратосфере. Человек и стихия, 1969. Гидрометеоиздат, Л., 1968.
19. Вангенгейм Г. Я. Особенности атмосферной циркуляции в различных эпохах и колебаниях климата. Труды II Всесоюзного географического съезда, т. II, Л., 1948.
20. Вангенгейм Г. Я. Долгосрочный прогноз температуры и вскрытия рек. Труды ГГИ, вып. 10, 1940.
21. Визе Ю. В. Колебания солнечной деятельности и ледовитости Арктических морей. ГУСМП, 14, Л., 1945.
22. Вительс Л. А. О возможной причине изменений солнечно-атмосферных связей. Метеорология и гидрология, № 7, 1960.
23. Вительс Л. А. Многолетние изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции и их преобразований в связи с солнечной активностью. Труды ГГО, вып. 90, 1960.
24. Вительс Л. А. Опыт анализа прогностической связи с учетом солнечной активности. Труды ГГО, вып. 3, 1961.
25. Вительс Л. А. Аномалия циклического хода солнечной активности и тенденция современных колебаний климата. Труды ГГО, вып. 133, 1962.
26. Вительс Л. А. О влиянии циклов солнечной активности разной длительности на некоторые характеристики атмосферных процессов. Труды Всесоюзного научного метеорологического совещания I, III, Л., Гидрометеоиздат, 1963.
27. Витинский Ю. И. Прогнозы солнечной активности АН СССР, М.—Л., 1963.
28. Вольцингер Н. Е. и др. Опыт применения частого анализа для изучения внутренней структуры природных климатических рядов. Труды ААНИИ, т. 277, 1966.
29. Гирс А. А. Многолетние преобразования форм атмосферной циркуляции и изменения солнечной активности. Метеорология и гидрология, № 10, 1956.
30. Гирс А. А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. Гидрометеоиздат, Л., 1960.
31. Гирс А. А. Внутриэпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и их причины. Труды ААНИИ, т. 255, 1963.
32. Голубцов В. В. О внутривековых колебаниях водоносности рек. Труды КазНИГМИ, вып. 26, 1967.
33. Давыдова А. И. О спектральных методах исследования гидрологических рядов. Метеорология и гидрология, № 3, 1971.
34. Дзердзеевский Б. Л. Многолетняя изменчивость общей циркуляции атмосферы и климата как основа климатического прогноза. Труды I-й Научной конференции по общей циркуляции атмосферы (1960, 14—18 марта). Гидрометеоиздат, М., 1962.
35. Дзердзеевский Б. Л. Флуктуации климата и проблема сверхдолгосрочного прогноза. Известия АН СССР, серия географ., № 5, 1968.
36. Дорман Л. И. Вариации космических лучей и исследование Космоса. АН СССР, М., 1963.
37. Дроздов О. А. и Покровская Т. В. К вопросу о реальности гелиоклиматических связей. Труды ВНМС, т. IV. Гидрометеоиздат, Л., 1963.
38. Дроздов О. А. и др. Вклад цикличности в колебания рядов по количеству атмосферных осадков, циркуляционных характеристик и магнитной активности и надежность ее определения. Труды ГГО, вып. 245, 1969.

39. Дроздов О. А. О главных циклах колебаний количества осадков и атмосферной циркуляции. Труды ГГО, вып. 258, 1970.
40. Дружинин И. И., Коноваленко З. П., Хамьянова И. В. К вопросу об оценке связей геофизических процессов с солнечной активностью. Солнечные данные, № 6, 1964.
41. Дружинин И. П., Коноваленко З. П., Кукушкина В. П., Хамьянова Н. В. Речной сток и геофизические процессы. Наука, М., 1966.
42. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
43. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л., Гидрометеоиздат, 1968.
44. Кондратьев К. Я., Никольский Г. А. Вариации солнечной постоянной по аэростатным исследованиям в 1962—1968 гг. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, т. 6, № 3, 1970.
45. Кондратьев К. Я. Солнечная постоянная. Метеорология и гидрология, № 3, 1971.
46. Коровин В. И. Влияние гидрометеорологических условий на сток рек и уровень озер бассейнов рек Верхнего Иртыша и Балхаш-Алакольской впадины. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
47. Кочукова Т. Н. Колебания годового стока рек СССР. Труды ГГИ, вып. 50, 1955.
48. Кузин П. С. Циклические колебания стока рек Северного полушария. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
49. Курдин Р. Д. Вековые колебания уровней Алакольских озер по историческим и геоморфологическим данным. Сборник работ Алма-Атинской ГМО, вып. 4, 1969.
50. Курдин Р. Д. О вековых колебаниях уровня озера Балхаш. Сб. работ Алма-Атинской ГМО, вып. 4, 1969.
51. Логинов В. Ф. Многолетние колебания циркуляции атмосферы и их связь с солнечной активностью. Вестник ЛГУ, сер. геологическая и географическая, № 12, 1966.
52. Логинов В. Ф., Сазонов Б. И. Температура Северного полушария и космические факторы. Вестник ЛГУ, № 18, вып. 3, 1967.
53. Львов В. Н. Колебания уровня Аральского моря за последние 100 лет. Труды ГОИН, вып. 46, 1959.
54. Львов В. Н. Уровень Аральского моря и солнечная активность. Труды ГОИН, вып. 85, 1965.
55. Максимов И. В., Смирнов Н. П. Опыт построения долгосрочного прогноза основных форм атмосферной циркуляции в северном полушарии компонентно-гармоническим методом. Труды ААНИИ, т. 262, 1965.
56. Максимов И. В., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Океан и космос. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
57. Мустель Э. Р., Кубышкин В. В., Бонелис И. В. Корпускулярные потоки и космические лучи солнечного происхождения и их воздействие на тропосферу Земли. Астрономический журнал, т. XIII, вып. 2, 1966.
58. Мустель Э. Р. О некоторых закономерностях в проблеме «Солнечная активность — атмосфера Земли». Астрономический журнал, т. XIV, вып. 6, 1967.
59. Мустель Э. Р. Солнечные корпускулярные потоки и их воздействие на атмосферу Земли. Научная информация, вып. 10, Астросовет АН СССР, М., 1968.
60. Никандров В. Я. В. И. Ленин о климатологическом прогнозе засухи 1921 г. Метеорология и гидрология, № 6, 1971.
61. Новое об энергетике атмосферы. Человек и стихия, 1971. Гидрометеоиздат, Л., 1970.
62. Околоземное космическое пространство. Под ред. Ф. С. Джонсона Мир, М., 1966.
63. Оль А. И. О связи между солнечной активностью и тропосферой. Солнечные данные, № 1, 1966.
64. Оль А. И. Индексы возмущенности магнитного поля Земли и их гелиогеофизическое значение. Труды ААНИИ, т. 289, Л., 1969.

65. Рогов М. М., Ходкин С. С., Ревина С. К. Гидрология устьевой области Аму-Дарьи. Гидрометеоиздат, М., 1968.
66. Рождественский А. В. Статистический анализ циклических колебаний некоторых стоковых рядов. Труды ЛГМИ, вып. 26, 1964.
67. Рождественский А. В. К вопросу оценки гелиогидрологических связей. Метеорология и гидрология, № 4, 1971.
68. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. Наука, М.—Л., 1964.
69. Рубашев Б. М. Проявление солнечной активности в ледовитости Балтийского моря. Солнечные данные, № 1, 1964.
70. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
71. Сазонов Б. И. Высотные барические образования и солнечная активность. Гидрометиздат, Л., 1964.
72. Сазонов Б. И. О возможной роли частиц космических лучей в солнечно-тропосферных связях. Труды ГГО, вып. 198, 1966.
73. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Гидрометиздат, Л., 1969.
74. Слепцов — Шевлевич Б. А. О вероятной причине непостоянства солнечно-атмосферных связей. Проблемы Арктики и Антарктики, вып. 16, 1964.
75. Слепцов-Шевлевич Б. А. О реальности существования двухлетнего цикла солнечной активности. Труды ААНИИ, т. 289, 1969.
76. Хайдаров Р. М. Динамика дельты р. Или, Труды ГГИ, вып., 160, 1968.
77. Хаминов Н. А. О цикличности многолетних колебаний ледовитости Балтийского моря. Труды ГГО, вып. 198, 1966.
78. Хамьянова Ю. В. Исследование асинхронности колебаний речного стока (на примере рек Средней Азии). МГУ, М., 1965.
79. Чистяков В. Ф. Переломные точки в развитии 11-летних циклов солнечной активности. Изв. Главной астрономической обсерватории, т. XXIV, вып. 2, № 173, 1965.
80. Шнитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. Записки ВГО СССР, нов. сер., М.—Л., т. 16, 1957.
81. Шнитников А. В. Озера Западной Сибири — индикаторы колебаний общей увлажненности их бассейнов. Озера полуаридной зоны. АН СССР, М., 1963.
82. Шнитников А. В. Колебания климата в текущем тысячелетии и их палеогеографическое значение. Доклады на ежегодных чтениях памяти Л. С. Берга. VIII—XIV. Наука, Л., 1968.
83. Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., Гидрометеоиздат, 1963.
84. Astrom E. Focucing of Paraxial Rays in a Magnetic Dipole Field. Tellus, v. 8, № 2, 1956.
85. Bartels J. Collection of geomagnetic planetery indices Kp and derived daily indices Ap and Cp for the years 1932 to 1961. Bull. I AGA, № 18, 1962.
86. Blacman V. B., Turkey I. W. The measurement of power spectra. The Bell System Techn., Journ. 37, № 1—2, 1958.
87. Boström R. Geomagnetic Effects on Anisotropic Cosmic Radiation. J. Geophys. Res. v. 69, № 7, 1964.
88. Chubb Tafbot A. Solar Ultraviolet and x — ray Radiation as observed from rockets and Satellites Proc. Intern Sympos Rocket and Satellites Meteorol Washington, 1962, Amsterdam, 1963.
89. Gagoli G., Mazzucony E. The Sun's Polar Surges and Magnetic Field. App. J., v. 147, № 3, 1967.
90. Handbook of geophysics. The Macmillan Company New York, 1960.
91. Heckman H. H., Nakano C. H. East — West Asymmetry in the Flank of Mirroring Geomagnetically Trapped Protons J. Geophys. Res. v. 68, № 8, 1963.
92. Ney E. P. Cosmic Radiation and the Weather. Nature, Eng., 183, № 4659, 1959.
93. Sacurai R. On the Large — Scale Structure of the Sun's Magnetic Field during the Declining and Minimum Phases of the Solar Activity Cycles. Rep. Ionosph. Space Res. Japan, v. 20, № 4, 1966.
94. Wilcox S. M. et al. Influence of Interplanetary Magnetic Field and Plasma on Geomagnetic Activity during Quiet—Sun Conditions. J. Geophys. Res., v. 72, № 1, 1967.

*Р. Д. КУРДИН*

# О ПОНЯТИИ КЛАССИФИКАЦИИ И ТЕРМИНОЛОГИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время отсутствует общепринятая терминология по вопросу циклических колебаний гидрометеорологических явлений, что порождает большой разнобой в научной литературе и в некоторых случаях затрудняет понимание точек зрения по существу рассматриваемых вопросов.

В первую очередь это относится к общим понятиям: *изменения, колебания* (флуктуации), *тенденции* (тренды), *ритмы, циклы.* Имеется ряд предложений по упорядочению этих понятий. Среди них можно упомянуть предложение О. А. Дроздова (1950), развитое в 1964 г. Б. М. Рубашевым применительно к солнечной активности [10], и предложение, сделанное в 1965 г. рабочей группой по колебаниям климата климатологической комиссии ВМО [11].

В первом случае предлагается подразделять колебания климата и других геофизических процессов на следующие пять видов:

а) случайные колебания (независимые во времени члены ряда);

б) возмущения — случайные колебания, обнаруживающие внутри некоторого промежутка связь друг с другом при корреляции;

в) ритмические колебания — чередование возмущений разных знаков с некоторым средним периодом;

г) периодические колебания — ритмические колебания со строгим чередованием одинаковых циклов;

д) скрытая периодичность — периодические колебания, искаженные наложением на периодические члены случайных колебаний, возмущений или ритмов.

Во втором случае дан проект классификации, рассматривающей изменение климата как общий термин, включающий все виды непостоянства климата:

а) скачкообразные изменения параметров статистического распределения от одной части ряда к другой;

б) колебания — такие изменения климата, при которых значения переменной постоянно и плавно изменяются между последовательными максимальными и минимальными значениями;

в) ритмы — колебания, при которых последовательные макси-

мумы и минимумы встречаются на приблизительно равных временных интервалах;

г) периоды — ритмы, в которых временные интервалы постоянны (или почти постоянны) для всего ряда;

д) тенденции — изменения, характеризующиеся сглаженным, монотонным возрастанием или убыванием значений переменной в период наблюдений.

Первая классификация в основу кладет статистические свойства временного ряда и носит в известной мере формальный характер. Вторая классификация представляет собой смешение физического и статистического подхода. В обеих классификациях отсутствует широко распространенный термин *циклические колебания*. В первой классификации этому термину приблизительно соответствуют ритмические колебания, скрытая периодичность, и, вероятно, возмущения; во второй — колебания и ритмы.

С точки зрения смыслового значения слов, вряд ли оправданно рассматривать термин колебания как постоянные и плавные изменения. Плавные изменения вследствие колебательного характера атмосферных и гидрологических процессов носят, как правило, колебательно-поступательный характер, т. е. они проявляются в направленном ходе максимумов и минимумов циклических колебаний.

Слово *период* в русском языке, как известно, имеет два смысловых оттенка:

1) характерный отрезок времени в развитии каких-либо процессов или явлений, эпоха (ледниковый, современный, теплый, эксплуатационный периоды);

2) время, необходимое для совершения одного элементарного замкнутого кругового или колебательного движения (период обращения Земли вокруг Солнца, период ветровой волны, период колебаний, период землетрясения).

В обоих вариантах термин период характеризует время, а не тип процесса или форму движения (вращение, колебание, круг, синусоида, циклоида). В этой связи термин периоды в значении периодические колебания представляется неприемлемым (период периода). Применительно к колебаниям климата и гидрометеорологического режима мы будем его в дальнейшем применять лишь в качестве временной характеристики ритмических колебаний. Под термином *колебания* мы предлагаем понимать чередование высоких и низких значений рассматриваемого элемента (процесса) без направленного изменения в ту или другую сторону, под термином изменения (климата, гидрологического режима) — направленные односторонние изменения, во время которых, в отличие от колебаний, значения рассматриваемого элемента (процесса) не приближаются к исходному положению.

Причиной изменения климата может быть, например, изменение положения материков, горообразовательные процессы, деятельность Человека. Изменения гидрометеорологического режима могут носить как плавный (увеличение запыленности атмосферы в

результате деятельности Человека), так и скачкообразный характер (взрыв вулкана, зарегулированность стока вследствие создания водохранилищ).

Изменения климата не меняют циклических колебаний и проявляются в их ходе в виде общей тенденции (тренда). При анализе имеющихся рядов гидрометеорологических наблюдений (редко 100—200 лет) как тенденции (тренды) воспринимаются и текущие фазы многовековых (при коротких рядах и вековых) циклов (рис. 1).

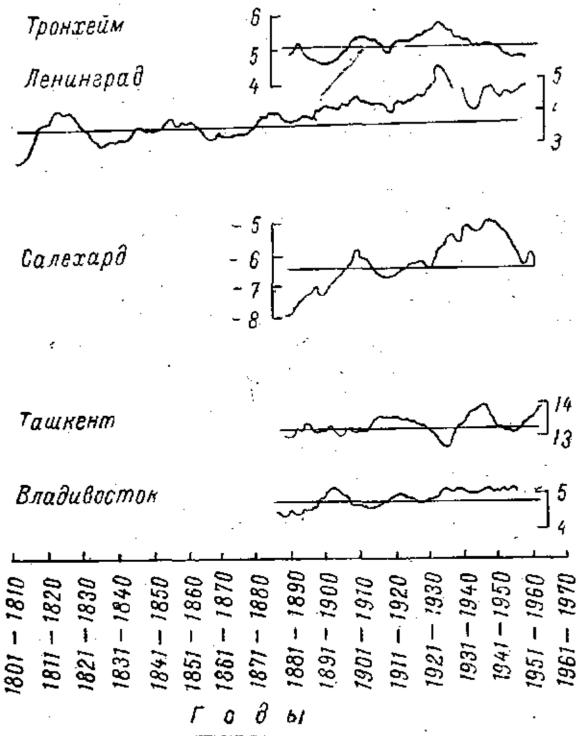



Рис. 1. Скользящие 10-летние средние температуры воздуха. Январь

Слово *ритм* подразумевает наличие повторений определенных фаз в развитии процесса, наличие более или менее определенной частоты (периода) в колебательных процессах. Поэтому не следует сужать смысловое значение этого термина и применять его как синоним только циклических или только периодических колебаний. В географической, геологической, геофизической литературе термины ритмы, ритмические колебания получили широкое распространение как обозначение всех видов колебаний, имеющих периодическую или циклическую составляющую.

В этой связи целесообразно подразделять колебания на случайные и ритмические. Случайные (беспорядочные, нерегулярные)

колебания — колебания, обусловленные действием случайных (по отношению к рассматриваемому процессу) непериодических факторов (например, помутнение атмосферы вследствие извержения вулкана), случайными вариациями не поддающегося учету влияния ряда малозначительных факторов и внутренних свойств самого процесса.

Ритмические (упорядоченные регулярные,) колебания — колебания, имеющие более или менее определенный период и образующие временную систему закономерных чередований высоких и низких значений рассматриваемого элемента (процесса), обусловленных воздействием внешних сил (вынужденные колебания) или свойствами процесса (автоколебания, свободные колебания).

Ритмические колебания, функционально связанные с изменениями определяющих факторов, в отличие от случайных колебаний (флуктуаций) называют детерминированными колебаниями. Реальные геофизические процессы (временные ряды гидрологических наблюдений) имеют детерминированную и случайную составляющие.

Ритмические колебания в свою очередь следует в соответствии с распространенной практикой подразделять на периодические и циклические.

Периодические колебания — колебания, характеризующиеся постоянным или почти постоянным периодом и амплитудой (такое развитие процесса, при котором по истечении определенного периода все параметры каждый раз возвращаются в исходное положение).

Циклические колебания — колебания с переменным периодом и амплитудой, т. е. такие колебания, при которых фазы спада закономерно сменяются фазами подъема, образуя систему замкнутых циклов, но значения рассматриваемых параметров по истечению очередного цикла не возвращаются в исходное положение.

Наряду с термином *циклические колебания* для обозначения колебаний, имеющих периодическую составляющую с нестабильным периодом, применяются и другие термины — неправильные периодические, квазипериодические, мнимопериодические. Все они являются синонимами и не могут вызывать принципиальных возражений, однако с целью разумной стандартизации терминологии представляется целесообразным ограничить этот перечень одним наиболее распространенным в последние годы термином — циклические колебания.

В качестве примера периодических колебаний можно привести колебания инсоляции Земли вследствие изменения параметров земной орбиты; циклических колебаний — колебания солнечной активности.

В соответствии с изложенным мы предлагаем принять следующую простую классификацию колебаний и изменений климата и водных ресурсов.

А. Колебания

1. Случайные колебания (флуктуации).

2. Ритмические (детерминированные) колебания:
а) периодические колебания,
б) циклические колебания.

## Б. Изменения

1. Скачкообразные изменения.
2. Плавные изменения (тренды).

В атмосфере и гидросфере Земли вследствие одновременного воздействия многих внешних сил с различным периодом колебаний, внутренних свойств и инерционности процессов, их взаимодействия между собой и с подстилающей поверхностью периодические или даже строго циклические колебания в чистом виде, как правило, отсутствуют.

Даже суточный и годовой ход метеоэлементов, связанный с вращением Земли вокруг оси и обращением ее вокруг Солнца, который должен был бы выражаться периодическими функциями, в действительности не является строго периодическим вследствие наложения на суточные и годовые колебания непериодических членов значения метеоэлементов по истечении суток или года никогда не возвращаются точно к своему исходному значению [1].

Реальные колебания атмосферной циркуляции и гидрометеорологического режима представляют собой сложную систему накладывающихся друг на друга разнопериодных ритмических и случайных колебаний. В этой связи, строго говоря, правильнее говорить не о циклических колебаниях земных процессов, а о наличии детерминированной циклической и периодической составляющих в их колебаниях.

Система замкнутых циклов представляет собой такую систему колебаний, в которой значение рассматриваемого элемента (индекса процесса) последовательно проходит точки минимальных и максимальных значений. Отдельный (элементарный) цикл характеризует изменение во времени значений рассматриваемого элемента между двумя смежными минимумами или максимумами (рис. 2).

Большинство авторов за границы (начало и конец) цикла принимает два смежных минимума. В этом случае в каждый цикл будет входить два минимума и один максимум, заключенный между ними. Минимум, принимаемый за конец данного цикла, для следующего цикла будет служить началом и т. д. Форма элементарного цикла (в графическом выражении) может быть самой различной — от неправильной синусоидальной до неправильной треугольной (рис. 1). В реальных условиях форма цикла осложняется циклами низшего и высшего (по отношению к рассматриваемой системе колебаний) порядка (ранга) и случайными колебаниями.

Основными характеристиками цикла являются его период $\tau$ и амплитуда $A$. Период (продолжительность) цикла определяется по отрезку времени между его границами (двумя смежными минимумами), амплитуда — по средней разности значений между мак-

симумами и минимумами данного цикла. Если обозначить координаты минимумов и максимумов по оси ординат $x_1$, $x_2$, $x_3$, ..., $x_i$, а по оси абсцисс (время) соответственно через $T_1$, $T_2$, $T_3$ (рис. 2), то для первого цикла получим $\tau_ц = T_5 - T_1$; $A = \frac{(x_2 - x_1) + (x_2 - x_3)}{2}$.

Каждый цикл состоит из фазы подъема (отрезок $x_1$, $x_2$) и фазы спада ($x_2$, $x_3$), которые могут быть охарактеризованы продолжительностью и средней интенсивностью (темпом приращения значения

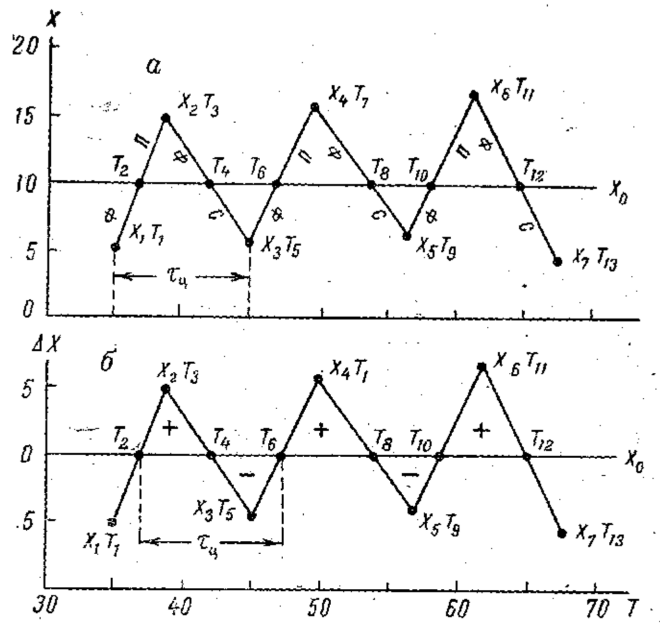



Рис. 2. Схема элементарного цикла, выделения его границ и фаз:

*а* — генетических, *б* — по отношению к норме; *x*, *T* — координаты переломных точек, $x_0$ — линия нормы

рассматриваемого элемента за фазу). Продолжительность фазы подъема $\tau_п = T_3 - T_1$, фазы спада $\tau_с = T_5 - T_3$. Средняя интенсивность фазы подъема $I_п = \frac{\tau_п}{x_2 - x_1}$, фазы спада $I_с = \frac{\tau_с}{x_2 - x_3}$. Продолжительность и интенсивность фаз подъема и спада обычно неодинаковы. Во многих случаях фаза подъема короче и интенсивнее, чем фаза спада. Такое соотношение, в частности, характерно для 11-летнего и других циклов солнечной активности и связанных с ними циклов климата, водности рек и уровней озер.

Поскольку каждый следующий цикл при циклических колебаниях в отличие от периодических, имеет, как правило, неодинаковый период и амплитуду, то эти показатели могут быть выражены средними предельными и преобладающими значениями. Например, период широко известных 11- и 22-летнего циклов сол-

нечной активности в действительности колеблется за имеющийся ряд наблюдений соответственно в пределах 7—17 и 17—29 лет. Приведенные крайние и близкие к ним значения встречаются лишь в 1—2% случаев. Около 75% значений периодов этих циклов лежит в пределах 10—12 и 20—24 лет.

При оценке солнечной обусловленности атмосферных и гидросферных процессов некоторые авторы забывают о том, что солнечные циклы названы по средним значениям их периодов и ищут в земных явлениях строго 11- и 22-летних проявлений солнечной активности. В этой связи период циклических колебаний любого ранга, в отличие от периодических колебаний, целесообразно выражать не одной цифрой (т. е. не в виде среднего значения), а в виде диапазона преобладающих значений, как это принято, например, для векового цикла солнечной активности (80—90 лет). При таком подходе 11-летний цикл солнечной активности следовало бы именовать 10—12-летним циклом.

Для выражения протяженности цикла во времени в литературе употребляется несколько терминов — *период, продолжительность, длительность, протяженность, длина, частота*. Нам представляется, как уже выше отмечалось, наиболее точным и кратким термин *период циклических колебаний* (например, внутривековые колебания с периодом 20—24 года). Термин частота более уместен для характеристики спектра циклических составляющих при частотном (гармоническом) анализе временного ряда.

Фазы цикла нередко (особенно в гидрологической литературе) рассматриваются по отношению к норме (среднемноголетнему значению рассматриваемого элемента, индекса). В этом случае принцип выделения циклов, фаз и физический смысл понятия фаза существенно отличаются от описанного выше. Вместо фаз подъема и спада выделяются фазы положительных и отрицательных отклонений от нормы. Как видно из рис. 2, положительная фаза включает в себя часть фазы подъема, максимум цикла и часть фазы спада, отрицательная фаза — часть фазы спада и минимум одного цикла, часть фазы подъема другого цикла.

Границы цикла определяются по точкам пересечения линии нормы смежными отрезками спада двух смежных циклов и смещаются по сравнению с минимумами циклов (при правильной форме циклов) на половину фазы (рис. 2). Амплитуда колебаний в этом случае определяется отдельно для фаз по средним и наибольшим значениям ординат в виде их отклонения от нормы (в абсолютных величинах, в процентах, модульных коэффициентах, при использовании разностных интегральных кривых — в виде $\Sigma \frac{(k-1)}{c_v}$). Общую амплитуду за цикл получают путем суммирования численных значений наибольших ординат обеих фаз.

Соответственно рис. 2 получаем: период цикла $\tau_ц = T_6 - T_2$, продолжительность положительной фазы $T_{п.ф} = T_4 - T_2$; отрицательной фазы $T_{о.ф} = T_6 - T_4$; амплитуда цикла $A_ц = (X_2 - X_0) + (X_6 - X_3)$.

Поскольку границы цикла при таком принципе выделения цикла и его фаз сдвигаются, то численные значения периода и амплитуды отдельно взятого цикла будут отличаться от получаемых при выделении цикла по двум смежным минимумам. При достаточно большом числе случаев средние значения в обоих случаях будут приблизительно одинаковы.

Рассмотренные принципы выделения циклов и их фаз еще не получили в литературе определенных наименований. Для удобства изложения будем называть первый способ способом экстремумов (генетических фаз), второй — способом отклонений от нормы. Первый способ более полно отражает физику процесса циклических колебаний. Он получил распространение при исследовании процессов с четко выраженной цикличностью (солнечная активность, уровни крупных озер), крупномасштабных циклических колебаний (вековых, сверхвековых, многовековых), а также при исследовании циклических колебаний по сглаженным или интегральным значениям рассматриваемого элемента (индекса).

При исследовании недостаточно выраженных многолетних и внутривековых циклических колебаний по несглаженным значениям более удобен второй способ, получивший наибольшее применение в гидрологических исследованиях (речной сток, осадки, температура воздуха). Этот способ в отличие от первого является в значительной мере условным приемом. Целесообразность применения рассмотренных способов определяется также характером поставленной задачи. Если для практической задачи определяющее значение имеют ход рассматриваемого элемента по годам, темпы подъема и спада, положение максимумов и минимумов во времени, то предпочтительнее использовать способ экстремумов. В случаях, когда определяющим является суммарное отклонение значений рассматриваемого элемента от нормы (например, в задачах, связанных с расчетом проектной нормы стока, наполнением озер и водохранилищ), целесообразно пользоваться способом отклонений от нормы.

При использовании способа отклонений от нормы необходимо иметь в виду, что норма является в условиях разномасштабных циклических колебаний скользящей величиной, зависящей от фазы цикла более высокого ранга (векового, многовекового), поэтому объективность оценки амплитуды циклических колебаний зависит от репрезентативности периода определения по отношению к данной системе колебаний.

При углубленных исследованиях самого процесса циклических колебаний, выявлении связей рассматриваемого элемента с определяющими факторами целесообразно использовать в качестве основного способ экстремумов, дополняя его при необходимости способом отклонений от нормы.

В литературе по циклическим колебаниям встречается большой набор терминов для обозначения фаз цикла: сухая и влажная фазы, холодный и теплый периоды, многоводный и маловодный циклы, многоводная и маловодная фазы, многоводный и маловод-

ный периоды, группировки многоводных и маловодных лет, фазы подъема и спада, фазы роста и спада, ветви подъема и спада, восходящая и нисходящая ветви, фазы регрессии (регрессивная) и трансгрессии (трансгрессивная) и т. д.

Термин *многоводный и маловодный циклы,* употребляемый в некоторых гидрологических исследованиях (преимущественно прошлых лет), принципиально неправилен и основан на неверном понимании понятия *цикл* — цикл состоит из многоводной и маловодной фаз (с точки зрения колебания водности рек), а сам по себе не может характеризоваться как многоводный, маловодный, (сухой или влажный).

Термины *период* и *группировка лет* могут применяться к рассмотрению временного ряда изучаемого элемента (процесса) и безотносительно к циклическим колебаниям, поэтому употребление их в значении фазы цикла не оправдано.

Термины *регрессивная* или *трансгрессивная* фазы возникли в связи с изучением циклических колебаний уровней водоемов (озера, моря, мировой океан) и по своему смысловому значению характеризуют смену наступания водоема на сушу (трансгрессия) отступанием (регрессия). При этом необходимо подчеркнуть, что трансгрессия или регрессия водоема на том или ином участке побережья (а при изменении формы или размеров котловины — водоема в целом) может быть связана не с изменением объема воды в водоеме (вследствие климатических причин), а с тектоническими процессами. Применение этого термина применительно к колебаниям климата вряд ли оправдано.

Термины подъем — спад, рост — спад, ветвь подъема — ветвь спада, восходящая ветвь — нисходящая ветвь, трансгрессия — регрессия относятся к фазам, выделяемым по способу экстремумов (генетические фазы цикла). Термины теплая — холодная, сухая — влажная, многоводная — маловодная характеризуют фазы, выделенные по способу отклонения от нормы (фазы отклонений от нормы в ходе циклических колебаний). Это принципиальное различие между значениями двух групп терминов далеко не всегда учитывается. В частности, в некоторых работах термины трансгрессивная и регрессивная фазы применительно к 1850-летним циклам А. В. Шнитникова употребляются как в значении генетических фаз (подъем, спад), так и в значении отклонений от нормы (прохладно-влажная трансгрессивная фаза, тепло-сухая регрессивная фаза).

В этой связи представляется необходимым унифицировать терминологию, относящуюся к циклическим колебаниям и их фазам, не допускать нечеткого или двойственного употребления терминов и, в частности, оговаривать, о каких циклах и фазах идет речь (генетических фазах или отклонениях от нормы).

Для генетических фаз наиболее приемлемыми представляются термины — фазы подъема и фазы спада, которые могут употребляться применительно к колебаниям любого рассматриваемого элемента или процесса. Для фаз отклонений от нормы общим тер-

мином могут служить положительная фаза (фаза положительных отклонений) и отрицательная фаза (фаза отрицательных отклонений). Ради краткости изложения, здесь, наряду с общими терминами, целесообразно сохранить и специальные: теплая — холодная, влажная — сухая, прохладно-влажная — тепло-сухая, многоводная, маловодная и т. п. — применительно к рассматриваемым элементам (процессам).

В зависимости от периода колебаний циклические колебания подразделяют на многолетние, внутривековые, вековые, сверхвековые и многовековые. Четких общепринятых критериев для отнесения того или иного цикла к указанным таксономическим рангам в настоящее время еще нет. А. В. Шнитников [12, 13] относит к внутривековым циклам колебания с периодом 20—50 лет. В циклах меньшей продолжительности ряд авторов выделяет многолетние (9—14 лет) и короткопериодные многолетние (2—7 лет). Другие авторы относят к внутривековым все многолетние и полувековые циклы.

К многовековым циклам Шнитников относит циклы с периодом 1850 лет, некоторые авторы — циклы с периодами более 300 лет. К сверхвековым циклам относят либо циклы от 120 до 300 лет, либо все циклы с периодом более 100 лет, не выделяя многовековые циклы. Лишь в отношении векового цикла нет разногласий — к нему все авторы относят циклы с периодом 70—100 лет (80—90).

Имеется и другая таксономическая схема, согласно которой все циклические колебания подразделяют на три ранга: короткопериодные (высокочастотные), среднепериодные (среднечастотные) и долгопериодные (низкочастотные). Эта схема используется преимущественно при выявлении циклических колебаний методами гармонического (частотного) анализа. К колебаниям высокой частоты обычно относят колебания с периодом 2—7 лет, к среднечастотным — 9—14 лет, низкочастотным — 20—24 года и более. Обширность последней градации связана с тем, что гармонический анализ при имеющейся длине рядов не позволяет устанавливать наличие циклов более 20—24 или даже более 10—14 лет.

При подходе к циклическим колебаниям в климатическом аспекте (т. е. в плане многолетнего и векового масштаба) колебания с периодом меньше года должны быть исключены из рассмотрения. С учетом сложившейся практики и смыслового значения различных временных категорий мы в данной работе будем придерживаться следующей предлагаемой класификации периода циклических колебаний (табл. 1).

Предлагаемые границы рангов в известной мере условны, однако они учитывают периоды фактически выявленных в настоящее время более или менее устойчивых и физически интерпретированных циклических колебаний. Циклические колебания со значениями периодов, приходящимися на интервалы между выделенными градациями, как правило, отсутствуют. Выявленные в отдельных случаях методом гармонического анализа колебания метеорологических элементов и речного стока с периодом 15—18 лет

физически не интерпретированы и, по-видимому, являются скорее всего лишь следствием наложения циклов разного ранга или происхождения, либо результатом дисперсии периодов 11 (10—12)- и 22 (20—24)-летних солнечных циклов. В этой связи циклические колебания с промежуточными значениями периодов можно относить к одной из ближайших градаций.

Реальный временной ряд любых гидрометеорологических дан-

*Таблица 1*

**Классификация многолетних и вековых циклических колебаний по их периоду**

| Ранг колебаний | Период (годы) |
|---|---|
| Короткопериодные (высокочастотные) | |
| Короткопериодные многолетние | 2—7 |
| Среднепериодные (среднечастотные) | |
| Многолетние | 9—14 |
| Долгопериодные (низкочастотные) | |
| Внутривековые | 19—60* |
| Вековые | 80—100 |
| Сверхвековые | 150—300 |
| Многовековые | 500—2000 |

* С учетом 19-летнего приливного цикла.

ных в большинстве случаев имеет весьма сложную гармонику с циклическими и случайными составляющими. Статистически существование циклических составляющих выражается в наличии ближних и дальних связей между членами ряда и может быть показано с помощью корреляционных функций или спектрального разложения ряда [2—9, 11].

Степень выраженности циклических колебаний (вклад той или иной составляющей в общую дисперсию процесса) статистически оценивается долей общей энергии процесса или плотностью спектрального распределения в тех или иных интервалах частот [4, 7].

Устойчивость циклических составляющих во времени при гармоническом анализе временного ряда характеризуется долей (%) потерь циклов данного периода [8].

Если фактор, обусловливающий циклические колебания атмосферных и гидросферных процессов, испытывает колебания с периодами различных масштабов, то можно говорить о единой многоциклической системе колебаний (системе гармоник разного порядка). Имеются мнения о том, что 11 (10—12)-летние, 22 (20—24)-летние, вековые (80—90)-летние и, возможно, предполагаемые сверхвековые и многовековые колебания солнечной активности обусловлены развитием одного процесса и образуют единую систему многоциклических колебаний [15].

Если это предположение справедливо, то и земные солнечно-обусловленные процессы должны характеризоваться системой многоциклических колебаний, осложненной наложением циклов иного происхождения и случайных колебаний. Тогда каждый цикл высшего ранга должен состоять из определенного числа циклов низшего ранга, а максимум (минимум) цикла высшего ранга образовываться наиболее высоким максимумом (минимумом) низ-

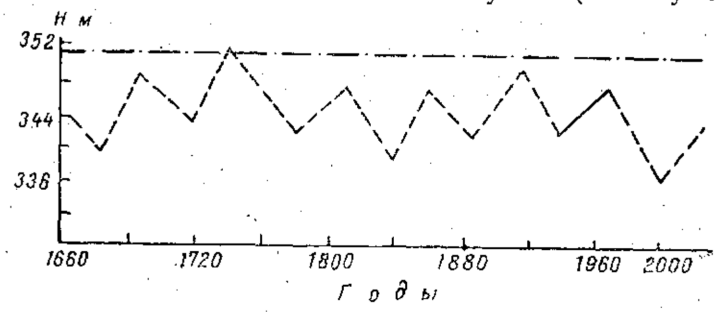



Рис. 3. Внутривековой и вековой ход уровня воды оз. Алаколь (Юго-восточный Казахстан) с учетом исторических и геоморфологических данных.

Верхняя линия — отметка слияния озера с озерами Кошкарколь и Сасыкколь

шего ранга в данном цикле высшего ранга. Ход цикла высшего ранга будет проявляться в ходе циклов (максимумов и минимумов) низшего ранга. В частности, в фазе подъема векового цикла максимумы и минимумы внутривековых циклов будут в среднем повышаться, в фазе спада — понижаться (рис. 3).

Из нескольких терминов (синонимов) — многоцикличность, многоритмичность, многопериодичность применительно к циклическим колебаниям, естественно, следует пользоваться терминами *многоцикличность, система многоциклических колебаний.* Для обозначения таксонометрического ранга циклических колебаний употребляются различные термины — *ранг, порядок, масштаб, длина периода* (цикл высшего порядка, цикл низшего порядка, крупномасштабные циклы, мелкомасштабные циклы, длиннопериодные и короткопериодные циклы). Для обозначения соотношения циклов в одной системе многоциклических колебаний наиболее точными и удобными нам представляются термины ранг (высший, низший) и ранговая соподчиненность.

Для систем многоциклических колебаний ранговая соподчиненность периода циклов обычно выражается числами 2, реже 3 или 4 (1 : 2, 1 : 3, 1 : 4). Например, для 2—3-летних, 4—6-летних, 10—12-летних и 20—24-летних циклов солнечной активности и их земных проявлений ранговая соподчиненность выражается числом 2 (период каждого последующего ранга увеличивается вдвое, т. е. каждый цикл высшего ранга состоит из двух циклов более низкого ранга).

Вследствие наложения друг на друга циклов различного ранга и происхождения, сложного взаимодействия атмосферы и океана, климата и оледенения суши и океана, а в последний период влияния деятельности Человека изменения и колебания климата носят колебательно-поступательный характер. Соответственно любой геофизический процесс должен рассматриваться как нестационарный, развивающийся, многоциклический процесс.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии, ч. 1 и 2. Гидрометеоиздат, Л., 1952.
2. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеоиздат, 1963.
3. Вольцингер Н. Е. и др. Опыт применения частого анализа для изучения внутренней структуры природных климатических рядов. Труды ААНИИ, т. 277, 1966.
4. Давыдова А. И. О спектральных методах исследования гидрологических рядов. Метеорология и гидрология, № 3, 1971.
5. Давыдова А. И., Калинин Г. П. Пространственно-временной анализ цикличности стока рек. Вестник МГУ, сер. географ., № 4, М., 1967.
6. Дроздов О. А., Покровская Т. В. Анализ статистических гелиоклиматических связей. Труды ВНИИС, т. IV, 1962.
7. Дроздов О. А. и др. Вклад цикличности в колебания рядов по количеству атмосферных осадков, циркуляционных характеристик и магнитной активности и надежность ее определения. Труды ГГО, вып. 245, 1969.
8. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Об устойчивости циклов многолетних колебаний атмосферных осадков. Труды ГГО, вып. 258, 1970.
9. Дружинин И. П., Коноваленко З. П., Кукушкина В. П., Хамьянова Н. В. Речной сток и геофизические процессы. Наука, М., 1966.
10. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. Наука, М.—Л., 1964.
11. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.
12. Шнитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. Записки ВГО СССР, нов. сер., М.—Л., т. 16, 1957.
13. Шнитников А. В. Озера Западной Сибири — индикаторы колебаний общей увлажненности их бассейнов. Озера полуаридной зоны. АН СССР, М., 1963.
14. Эйгенсон М. С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Изд. Львовского госуниверситета, 1957.
15. Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., Гидрометеоиздат, 1963.

## СОДЕРЖАНИЕ


Байдал М. Х., Кияткин А. К. Настоящее и будущее проблемы Аральского моря . . . . . 5

Байдал М. Х. Типы атмосферной циркуляции, определяющие колебания климата бассейна Аральского моря . . . . . 21

Прохоров И. И. Возможные изменения отдельных климатических характеристик в связи с изменением площади Аральского моря . . 30

Бедарев С. А. Влияние изменения уровня Аральского моря на пастбищную растительность Приаралья . . . . . 49

Байдал М. Х. Связь вековых колебаний уровня Аральского моря с соотношениями солнечной активности и макротипов атмосферной циркуляции . . . . . 62

Байдал М. Х. Роль динамики мгновенного полюса вращения Земли во внутривековых колебаниях гидрометеорологических характеристик . 67

Байдал М. Х. Пространственно-временные связи годовых и летних сумм осадков в Приаральском регионе . . . . . 76

Суслов Л. Е. Цикличность многолетних колебаний осадков в Приаралье 81

Голубцов В. В., Морозова О. А. О современном водном балансе Аральского моря . . . . . 87

Байдал М. Х. Предстоящие вековые и внутривековые условия солнечной активности, атмосферной циркуляции и уровня Аральского моря. . 100

Голубцов В. В., Морозова О. А. Прогноз изменения уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия . . . . . 105

Байдал М. Х. Расчет уровня Аральского моря на 5-6-летние периоды с помощью гелиосиноптической модели . . . . . 124

Байдал М. Х. Связь средних годовых уровней Аральского моря с преобладающими типами атмосферной циркуляции . . . . . 133

Байдал М. Х. Факторно-компонентный метод расчета годовых сумм осадков по Приаралью и Аральскому морю . . . . . 137

Жиркевич А. Н. Водный баланс озера Балхаш и перспективы его изменений в связи с использованием водных ресурсов Или-Балхашского бассейна . . . . . 140

Курдин Р. Д. О солнечно-гидрометеорологических связях и прогнозах колебаний климата и водных ресурсов . . . . . 169

Курдин Р. Д. О понятии классификации и терминологии циклических колебаний геофизических процессов . . . . . 204



**Труды КазНИГМИ вып. 44**
**Вопросы колебания климата и водных ресурсов**

Отв. редактор *М. Х. Байдал*

Редактор *Т. С. Тихонова* Корректор *Л. Б. Афанасьева*

Тех. ред. *В. Н. Силкина*

Московское отделение Гидрометеоиздата
Москва, Будениновская ул., 42/1

Т-05354 Сдано в набор 8/II—1972 г. Подписано к печати 15/IV—1972 г.
Изд. № 112. Индекс М—М—112 Бумага 60×90¹/₁₆.
Печ. л. 14 Уч.-изд. л. 15,16. Зак. 277.
Бумага тип. № 2. Цена 1 руб. 02 коп. Тираж 430

Типография № 32 Главполиграфпрома. Москва, Цветной бульвар, 26.

УДК 551.481.1

**Настоящее и будущее проблемы Аральского моря. Байдал М. Х., А. К. Кияткин. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 5—20.**

В статье рассматриваются проблемы, решение которых необходимо при разработке схемы комплексного использования водных ресурсов в бассейне Аральского моря. Указывается на необходимость комплексного решения вопроса обводнения рассматриваемого бассейна. Приводится много фактических данных о размерах земельных ресурсов и перспектива их использования.

Указывается на необходимость переброски в бассейн Аральского моря стока сибирских рек и рассматриваются некоторые аспекты решения этой проблемы.

Иллюстраций 1, таблиц 2, библиограф. названий 36.

УДК 551.50

**Типы атмосферной циркуляции, определяющие колебания климата бассейна Аральского моря. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 21—29.**

Дается обоснование связи колебаний климата с крупными характеристиками атмосферной циркуляции, учитывающими основные центры действия атмосферы и очаги формирования воздушных масс. Утверждается, что локальные типизации, отражая детали погодных характеристик, в осреднении по многолетним периодам не показывают на основные различия гидрометеорологических характеристик во времени и в пространстве.

Наиболее удобными для этих целей считаются три типа (формы) атмосферной циркуляции по Г. Я. Вангенгейму, в многолетнем ходе повторяемости которых четко различаются эпохи продолжительностью в среднем около 11 лет. Эти типы циркуляции тесно связаны с солнечной активностью и динамикой мгновенного полюса вращения Земли, отражая воздействия последних на климат.

Иллюстраций 4, таблиц 2, библиограф. названий 11.

УДК 551.583:481

**Возможные изменения отдельных климатических характеристик в связи с изменением площади Аральского моря. И. И. Прохоров. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 30—48.**

Приведены климатические материалы, позволяющие оценить возможные изменения климата и микроклимата в районе Аральского моря в связи с проведением водохозяйственных мероприятий. Делается вывод о том, что сокращение площади поверхности моря на 50% практически не приведет к значимым изменениям климата. За счет увеличения площади поливных массивов можно ожидать некоторого смягчения климатических условий в теплый период года. Незначительное увеличение влагонасыщенности и перенос паров в горные районы может вызвать там увеличение осадков и малозаметное увеличение стока на реках Амударья и Сырдарья.

Статья рассчитана на специалистов гидрометеорологов, проектировщиков и др. специалистов.

Иллюстраций 5, таблиц 15, библиограф. названий 9.

УДК 630:551,5

**Влияние изменения уровня Аральского моря на пастбищную растительность Приаралья. С. А. Бедарев. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 49—61.**

Рассматриваются современное состояние, урожайность пастбищной растительности Приаралья и возможные ее смены под влиянием изменения уровня Аральского моря.

Состояние и продуктивность растительности рассматриваются по конкретным доминирующим сообществам глинистых, песчаных и солончаковых местообитаний, а также речных пойм, периодически заливаемых водой. Показано, что урожайность пастбищ плакорных местообитаний с глубоким залеганием грунтовых вод в связи с понижением уровня Аральского моря почти не изменится. Значительные изменения произойдут лишь в тех растительных сообществах, водное питание которых осуществляется за счет подтока Аральского моря и крупных рек. Резкое падение уровня грунтовых вод может привести к быстрому исчезновению тростниковых, разнотравно-тростниковых травостоев и появлению малопродуктивных сочносолянковых сообществ, урожайность которых в несколько раз ниже вышеназванных.

Библиограф. названий 14.

УДК 551.583.14

**Связь вековых колебаний уровня Аральского моря с соотношениями солнечной активности и макротипов атмосферной циркуляции. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 62—66.**

Статья посвящена исследованиям связи колебаний уровня Аральского моря с климатообразующими факторами.

На основе ранее выполненных автором работ о двух способах влияния солнечной активности на количество атмосферных осадков доказывается зависимость вековых колебаний уровня Арала с конца 18-го столетия от соотношений фаз максимума и минимума вековых циклов солнечной активности и преобладающих типов атмосферной циркуляции. Периоды с катастрофически низким уровнем моря соответствуют периодам совпадения фазы векового минимума солнечной активности с преобладанием меридиональной циркуляции типа *C*, а периоды высоких уровней — периодам совпадения фазы векового максимума солнечной активности с преобладанием меридиональной циркуляции типа *E*.

В статье приводятся данные по атмосферно-типовой структуре вековых циклов солнечной активности с начала 17-го столетия и указывается на вероятный характер колебаний уровня Арала с начала 17-го столетия до его последних лет.

Иллюстраций 3, библиограф. названий 12.

УДК 551.521

**Роль динамики мгновенного полюса вращения Земли во внутривековых колебаниях гидрометеорологических характеристик. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 67—75.**

В статье излагается характер связи повторяемости зональных и меридиональных процессов атмосферной циркуляции с изменениями траектории мгновенного полюса вращения Земли (с циклическими закручиваниями и раскручиваниями спиралевидной траектории).

Показано, что зональная циркуляция учащается в периоды закручивания траектории и становится более редкой в периоды максимального раскручивания траектории МПВЗ. С этой синхронной цикличностью продолжительностью 35—40 лет тесно связан характер многолетнего хода многих гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха, количества осадков, уровня озер и замкнутых морей, ледникового и речного стока, динамики кромки ледников и пр.). Все они в той или иной степени отражают циклы МПВЗ и повторяемости зональной циркуляции.

В фазы максимального закручивания спирали МПВЗ и повышения повторяемости зональной циркуляции гидрометеорологические характеристики как в Средне-Азиатском регионе, так и других районах, имеют свои максимумы, после которых происходит скачкообразное понижение. Эта глобальная особенность климата является главной чертой внутривековых колебаний.

Иллюстраций 10, библиограф. названий 9.

УДК 551.577.48

**Пространственно-временные связи годовых и летних сумм осадков в Приаральском регионе. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 76—80.**

Статья содержит характеристики корреляционных связей осадков между станциями прибрежной зоны Аральского моря, а также между этими и другими станциями региона, удаленными от побережья. Показано, что в широтном направлении даже между удаленными станциями (запад и восток региона) имеется тесная коррелятивная связь, тогда как в меридиональном направлении связь между количеством осадков очень слабая.

Уровень коррелятивной связи для лета почти тот же самый, что и для года в целом. Дается объяснение различиям в уровне коррелятивной связи в широтном и меридиональном направлениях. Приводится метод оценки степени аналогичности многолетнего хода количества осадков между различными станциями.

Таблиц 3, библиограф. названий 5.

УДК 551.508.7

**Цикличность многолетних колебаний осадков в Приаралье. Л. Е. Суслов. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 81—86.**

Рассматриваются особенности многолетнего хода осадков в Приаралье. В работе использованы данные по годовому количеству осадков для 84 станций Казахстана. Статистический анализ материалов указывает на наличие цикличности в колебаниях осадков, на парность и ранговую соподчиненность циклов разных порядков. Колебания гидрологических характеристик Аральского моря ставятся в связь с цикличностью осадков, которая, в свою очередь, ставится в зависимость от ритмов активизации солнечных процессов.

Иллюстраций 3, библиограф. названий 13.

УДК 556.552.

**О современном водном балансе Аральского моря. В. В. Голубцов, О. А. Морозова. Труды КазНИГМИ, 1972, вып. 44, стр. 87—99.**

Отдельные элементы водного баланса Аральского моря в настоящее время определены довольно приближенно. Все это заставляет исследователей, занимающихся проблемой Аральского моря, неоднократно возвращаться к исследованию его баланса. В статье при составлении водного баланса существенно уточнены величины потерь в дельте за 1912—1958 гг. Удалось установить, что эти потери за указанный период были значительно выше, чем за 1959—1969 гг. Это, по-видимому, обусловлено не только уменьшением притока за последнее десятилетие, но и стадийным развитием русловых процессов в дельте р. Амударьи.

Величина подземного притока в отличие от предыдущих сводок баланса принята равной 3,4 $км^3$ в год. Эта величина обоснована И. М. Черненко. Наши исследования также указывают на то, что подземный приток в Аральское море может быть оценен в 3—4 $км^3$ в год.

В связи с неправильной оценкой величины подземного притока значение испарения в предыдущих исследованиях принималось существенно заниженным. Авторам в определенной мере удалось устранить этот недостаток. Составленные водные балансы за 1912—1960 и 1959—1969 гг. в основном правильно отражают основные черты современного гидрометеорологического режима Аральского моря.

Иллюстраций 4, таблиц 8, библиограф. названий 23.

УДК 551.521:482.215

**Предстоящие вековые и внутривековые условия солнечной активности, атмосферной циркуляции и уровня Аральского моря. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 100—104.**

Статья посвящена ориентировочным прогнозам солнечной активности, эпох атмосферной циркуляции и уровня Аральского моря соответственно до 2193, 2075 и 2070 гг.

Прогноз фаз максимума и минимума вековых циклов солнечной активности сделан с учетом нарастающей длительности этих циклов, отражающих фазу подъема 1800-летнего сверхвекового цикла. Прогноз атмосферной циркуляции внутри солнечных циклов дан на основе чередования двух ее меридиональных типов. Для прогноза уровня Арала применен метод аналогов для различных соотношений типа циркуляции и фазы солнечного векового цикла.

Иллюстраций 3, таблиц 1, библиограф. названий 5.

УДК 556.555.2

**Прогноз изменения уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия. В. В. Голубцов, О. А. Морозова. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 105—123.**

Расчет вековых и многолетних колебаний уровней Аральского моря на ближайшие десятилетия (1971—2000 гг.) может быть выполнен на основе прогноза изменений стока в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи. В основу прогноза суммарного стока этих рек в Аральское море может быть положена его зависимость от годовых значений чисел Вольфа. Эта связь за период 1912—1960 гг. является довольно определенной и отражает уменьшение величин притока, осредненных по скользящим трехлетиям, с увеличением годовых значений чисел Вольфа $W$ до 100—110. При дальнейшем увеличении $W$ величина притока снова несколько увеличивается. Такой характер зависимости, по мнению М. Х. Байдала, обусловлен увеличением непосредственного влияния солнечной активности на атмосферные процессы при повышении ее уровня. Соответствие рассчитанных и фактических значений притока за 1912—1960 гг. характеризуется коэффициентом корреляции $r=0{,}824$. Хорошая согласованность обнаруживается и в 1880—1911 гг.

Для прогнозирования естественного притока в Аральское море использованы прогнозируемые значения годовых чисел Вольфа на 1971—2000 гг. В статье приведена сводка этих прогнозов, их критический анализ и окончательно выбранные значения чисел Вольфа. Результаты расчетов позволили установить, что естественный приток в Аральское море за 1971—2000 гг. будет на 2—3% выше средних многолетних значений. При расчете уровней Аральского моря на последующие десятилетия использовались значения естественного притока, уменьшенные на величину забора воды в бассейне при определенных условных уровнях развития орошения. Показан характер изменения отметок уровня моря в естественных условиях и при различных вариантах проведения водохозяйственных мероприятий в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи.

Иллюстраций 10, таблиц 6, библиограф. названий 19.

УДК 556.048

**Расчет уровня Аральского моря на 5-6-летние периоды с помощью гелиосиноптической модели. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 124—132.**

В статье дается описание эмпирического уравнения климата, позволяющего рассчитывать основные характеристики элементов климата на базе факторно-компонентного анализа. Приведены результаты расчета средних значений уровня Аральского моря по 5-6-летним периодам, характеризующиеся относительной ошибкой $\alpha$, равной 0,6. В основу расчета взяты соотношения эпох атмосферной циркуляции и фаз 11-летних циклов солнечной активности. При этом учитывались полученные способом наименьших квадратов масштабы индивидуального влияния типов атмосферной циркуляции на уровни для одинаковых значений солнечной активности и влияния различных фаз сол нечной активности при однородной циркуляции.

Главные экстремы в ходе среднегодовых уровней Арала за 1904—1966 гг. рассчитаны правильно.

Иллюстраций 2, таблиц 5, библиограф. названий 11.

УДК 551.513:482.215

**Связь средних годовых уровней Аральского моря с преобладающими типами атмосферной циркуляции. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 133—136.**

Статья посвящена попытке разработать способ расчета уровня Аральского моря на основе связей последнего с атмосферной циркуляцией, минуя данные об отдельных элементах климата. Автором получена тесная связь средних годовых уровней Арала с повторяемостью типа *Е* атмосферной циркуляции за год, смещенной назад по отношению к календарному (за который брались данные об уровнях), на шесть месяцев. Таким образом, расчет уровней производится наполовину по фактическим данным и циркуляции, а наполовину — по прогностическим. Если же расчет осуществлять весной, то в основу берется фактическая циркуляция за восемь-девять месяцев, что, конечно, существенно повышает точность расчета.

С допуском погрешности до ±17% амплитуды за 1904—1966 гг. успешность расчетов равна 91%.

Иллюстраций 1, библиограф. названий 5.

УДК 551.577.48

**Факторно-компонентный метод расчета годовых сумм осадков по Приаралью и Аральскому морю. М. Х. Байдал. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 137—139.**

Статья посвящена результатам расчета годовых сумм осадков за 1925—1963 гг. по Приаралью с помощью уравнения, учитывающего их факторно-компонентную структуру. Приводится также ориентировочный расчет осадков до 2000 г., основанный на прогнозе эпох атмосферной циркуляции и солнечной активности. За истекшие годы успешность расчета сумм осадков равна 92% при допуске погрешности до 20% многолетней амплитуды. Указывается, что способ расчета испытывался в оперативных условиях в 1969—1971 гг. Расчеты месячных сумм осадков по территории Казахстана с заблаговременностью 1—5 месяцев оправдались на 74%.

Иллюстраций 1, библиограф. названий 6.

УДК 556.552

**Водный баланс озера Балхаш и перспективы его изменений в связи с использованием водных ресурсов Или-Балхашского бассейна. А. Н. Жиркевич. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 140—168.**

Или-Балхашский бассейн располагает значительными водноземельными ресурсами, использование которых будет сдерживаться ввиду отрицательного влияния безвозвратных отъемов воды на режим и гидрохимическое состояние оз. Балхаш. Правильное управление использованием водных ресурсов возможно только на основе достаточно четких представлений о формировании водного баланса бассейна и самого озера.

В статье изложены исследования и расчеты, выполненные в Казгидропроекте, по уточнению водного баланса оз. Балхаш. Особое внимание уделено расчету потерь в дельте р. Или, изменение которых обусловлено русловыми процессами и колебанием климата. Испарение с поверхности озера предлагается рассчитывать в соответствии с методикой Указаний по расчету испарения с поверхности водоемов. Дана оценка гидрологического метода определения подземного притока в озеро.

Иллюстраций 7, таблиц 7, библиограф. названий 24.

УДК 551.583.13—15

**О солнечно-гидрометеорологических связях и прогнозах колебаний климата и водных ресурсов. Р. Д. Курдин. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1971, стр. 169—203.**

Дается обзор современных данных и точек зрения по вопросу солнечно-гидрометеорологических связей и основанных на них климатологических прогнозов. Рассматриваются вопросы влияния солнечной деятельности на циркуляцию атмосферы, погоду, климат, режим рек и озер, устойчивости солнечно-гидрометеорологических связей в пространстве и времени; причины изменения знака или исчезновения ранее выявленных связей, несоответствия между колебаниями солнечной активности, повторяемости типов циркуляции и гидрометеорологических процессов. Приводятся методы выявления солнечно-гидрометеорологических связей.

В свете данных последних исследований по корпускулярной радиации Солнца и роли магнитных полей Земли и Космоса рассматриваются различные стороны проявлений солнечной деятельности в циклических колебаниях циркуляции атмосферы и элементов гидрометеорологического режима и дается физическая интерпретация изменения периода, распадения и наложения земных циклов по фазам 22-летнего и векового циклов солнечной активности. Показывается, что солнечная деятельность ответственна за целую гамму циклических колебаний с периодом от 2 до 17 лет, отсутствующих в ходе чисел Вольфа.

Рассматривается наличие научной основы и перспективы сверхдолгосрочных прогнозов колебаний климата и водных ресурсов.

Показывается недопустимость упрощенного подхода к солнечно-гидрометеорологическим связям и основанным на них прогнозам.

Иллюстраций 9, библиограф. названий 94.

УДК 551.582.13—15

**О понятии, классификации и терминологии циклических колебаний геофизических процессов. Р. Д. Курдин. Труды КазНИГМИ, вып. 44, 1972, стр. 204—216.**

В статье рассматривается понятие «цикл», принципы выделения его границ, фаз и определения других характеристик циклических колебаний геофизических процессов. Дается критический разбор терминологии по циклическим колебаниям, употребляемой в настоящее время в научной литературе, и вносятся предложения по упорядочению этой терминологии. Предлагаются классификации колебаний и изменений климата по их характеру и периоду. Обосновывается предложение рассматривать геофизические процессы как многоциклические развивающиеся нестационарные процессы.

Иллюстраций 3, таблиц 1, библиограф. названий 15.