

УДК 551.324.6:551.583(235.221)

**ПРИРОДНЫЙ РЕЖИМ ЭВОЛЮЦИИ МАССЫ ГОРНЫХ
ЛЕДНИКОВ КАЗАХСТАНА И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЯТЬ ИМ
В ПЕРИОД УСТОЙЧИВОЙ ДЕГРАДАЦИИ**

Доктор. геогр. наук П.А. Черкасов

На основе исследования балансов ледников Казахстана, спектрального анализа изменений температурного режима показано, что в конце 19 – начале 20 веков ледники вышли из стационарного состояния, и в настоящее время их баланс стал устойчиво отрицательным. Это приведет к уменьшению доли ледниковых вод в стоке рек и скажется на экологии региона. Предлагаются методы активного воздействия на осадки и сход лавин с целью улучшения баланса ледников.

***Основные черты природного режима горных ледников Или-
Балхашского бассейна.***

Горные системы северного Тянь-Шаня с юга и Джунгарского Алатау с севера (в пределах Казахстана) являются самыми обширными территориями формирования стока рек бассейна реки Или – главной артерии питания оз. Балхаш, в которой ледниковая составляющая на выходе из гор в вегетационный период достигает 30 – 50%. Эти источники пресной воды являются основой орошаемого земледелия и всей экономики в целом на территории региона.

В Казахстане и республиках Средней Азии в условиях экологических нарушений природных процессов (Аральское море, оз. Балхаш) катастрофически нарастает дефицит пресной воды: Он обостряется ещё потому, что с 20-х годов 20 века наблюдается систематическое уменьшение площади и объёма горных ледников, что связано с долгопериодными ритмами изменения климата, а также наложившейся на них антропогенной деятельностью, которая ведёт к общепланетарному повышению температуры воздуха из-за увеличения концентрации парниковых газов.

Гляциологи Казахстана на протяжении 50-и лет вели систематические разносторонние исследования ледников, участвовали в выполнении ряда крупномасштабных международных и всесоюзных гляциологических

программ: МГГ (1957-59), МГД (1965-74), в составлении Каталогов ледников СССР и Атласа снежно-ледовых ресурсов мира. С 1963 г мы принимаем участие в работе «Мировой службы мониторинга ледников» (как части системы глобального мониторинга окружающей среды ЮНЕП и международной гидрологической программы ЮНЕСКО) по программе «Колебания режима ледников Земли».

В Заилийском Алатау систематический мониторинг баланса массы был организован на долинном леднике Туюксу с 1956 г и продолжается до настоящего времени. В Джунгарском Алатау эти работы с 1956 г по 1991 г проводились на долинном леднике Шумского. Они были прекращены в связи с трудностями финансирования после распада СССР. Особенностью этих ледников (как и всех других в горных системах Казахстана) является то, что, подчиняясь общему режиму климата, они, в связи с различиями морфологии и рельефными условиями расположения в горной местности (особенно ориентации и высоты залегания), по-разному реагируют на его изменения.

Характерными признаками существования современного оледенения Джунгарского и Заилийского Алатау в условиях резко континентального климата являются, как правило, устойчивый зимний антициклон, низкая температура воздуха, летний пик интенсивности осадков и совмещение процессов аккумуляции и абляции в тёплый период года. Баланс массы ледников зависит от режима и интенсивности летних осадков, выпадающих в основном в смешанном виде с преобладанием твёрдой фазы.

Для решения проблем мониторинга горного оледенения нами разработаны:

- на основе данных сейсмозондирования [17] и радиолокационного (наземного и воздушного) зондирования толщины большого числа ледников различных морфологических типов более точные методы определения их объёма [9, 21];

- теория, методы и алгоритмы (образующие систему численного моделирования), которые позволяют воспроизводить на компьютере полную картину формирования всех составляющих водно-ледового баланса на физической поверхности ледников и определять долю ледниковой составляющей в стоке рек за каждый балансовый год, установить мониторинг оборота запасов льда в горах и изменения его объёма [14, 15, 18, 19, 20];

- методы кратко- и долгосрочного прогнозов режима ледников [15].

Ниже приведены результаты наблюдений на примере экспериментальных ледников Туюксу и Шумского за их режимом в течение нескольких

десятилетий. За время наблюдений они в основном находились в неблагоприятных условиях существования, которые наиболее активно стали возрастать с начала 80-х годов. На леднике Туюксу за период с 1958 г по 2000 г годовая аккумуляция в среднем уменьшалась на 0,1 м, годовая абляция возрастала на 0,3 м, а годовой баланс на 0,5 м. Снеговая линия на леднике Туюксу с 1958 г по 2000 г поднялась с 3730 м до 3950 м, т.е. на 220 м; на леднике Шумского за период 1967 – 1991 гг. – с 3610 м до 3710 м, т.е. на 100 м.

На рис. 1 приведены кумулятивные кривые временного хода чистого баланса ледника Шумского за 25 лет и ледника Туюксу – за 43 года наблюдений, интегрирующие в себе всю сумму взаимоотношений балансовых характеристик. На наиболее благоприятном леднике Шумского с 1967 г до 1973 г баланс массы ежегодно понемногу увеличивался, затем стал медленно уменьшаться и своего нулевого состояния достиг в 1983 г. Далее до 1991 г (и, конечно, до 2000 г) ледник находился в состоянии отрицательного баланса. Ледник Туюксу, начиная с 1956 г по 1972 г, находился в более или менее равновесном балансе, в среднем $\pm 0,32$ м, а с 1973 г и до 2000 г (за исключением 1981 и 1993 гг.) – в состоянии отрицательного баланса, в среднем - 0,70 м.

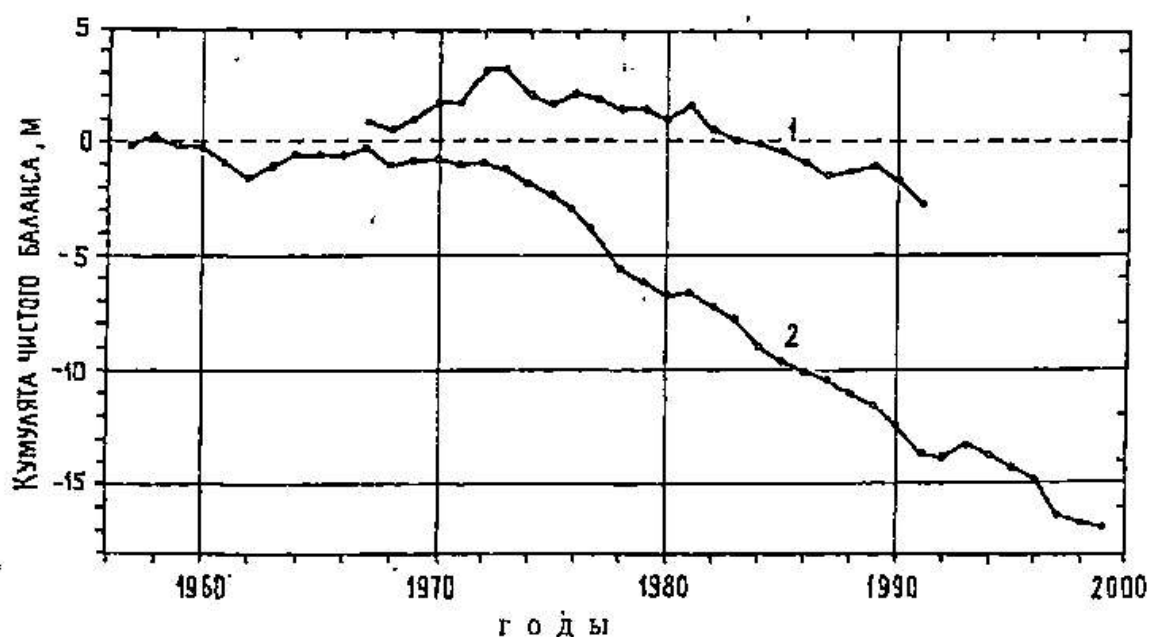


Рис. 1. Кумулятивные кривые временного хода чистого баланса ледников Шумского (1) за 24 года и Туюксу (2) за 42 года наблюдений.

На примере Джунгарской ледниковой системы – самой крупной на территории Казахстана и в пределах Или-Балхашского бассейна, изучены данные временного хода изменчивости внешнего оборота массы ледников,

а на картах — показана пространственная картина формирования составляющих и баланса в пределах всей ледниковой системы, объём и доля ледникового стока в общем стоке рек, скорости изменения массы льда и её оборота, характеризующих степень устойчивости существования оледенения в различных бассейнах рек ледниковой системы [16]. Изменчивость режима ледников связана с макросклонами гор разной ориентации: средний годовой баланс ледников на южном макросклоне равен - 0,43 м/год, на западном — - 0,48 м/год, на северном — - 0,37 м/год [23].

Оценка устойчивости существования оледенения даётся путём определения скорости изменения (преимущественно потери) массы льда ледников в % за балансовый год и времени их полного исчезновения в годах: построена карта скорости исчезновения оледенения Джунгарского Алатау (рис. 2).

В бассейнах рек западной ориентации стока ледники теряют 1,1 % своей массы в год, что приводит к неустойчивому их состоянию относительно запасов льда на 1970 г. Они исчезнут примерно через 90 лет, т.е. в 2060 г ± 10 лет. Лучше всех “живут” ледники северного склона и особенно в центральной его части (бассейн р. Баскан): они теряют всего 0,44 % и будут «жить» 430 лет, т.е. до 2400 г. Ледники южного склона теряют 0,96 % массы в год, им осталось существовать около 100 лет, т.е. до 2070 г. В связи с предполагаемым планетарным повышением температуры воздуха в результате антропогенной деятельности на 3–5 °С, названные скорости естественного исчезновения горных ледников будут возрастать.

Приведём предварительные *ориентировочные* данные скорости изменения размеров оледенения на северном склоне Заилийского Алатау за период с 1955 по 1990 годы без учёта площади мелких ледников, выпавших из итоговых сумм определения площади оледенения до 1990 г

Таблица

Изменения размеров оледенения на северном склоне Заилийского Алатау

| | Год | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| | 1955 | 1974 | 1979 | 1990 |
| Площадь чистого льда, км ² | 271,2 | 240,4 | 228,2 | 201,9 |
| Потери площади относительно 1955 г, % | 0 | 11,3 | 15,8 | 25,6 |
| Скорость изменения площади, км ² /год | 1,62 | 1,79 | 2,40 | |
| В среднем за периоды %/год | 0,63 | 0,76 | 1,10 | |

Скорость изменения площади ледников, выраженная в км²/год или процентах, происходит, как минимум, под влиянием трёх факторов: 1 - климата; 2 - ориентации макросклонов горных хребтов в сочетании с циркуляцией атмосферы; 3 - морфологии типов ледников и их расположения на горном рельефе. Отсюда следует, что пользоваться каким-то единым средним арифметическим показателем изменения размеров оледенения из выше названных факторов, или даже средним для всех трёх факторов – практически нельзя.

На основе дендрохронологического анализа индексов прироста Тянь-Шанских елей возраста 120 лет и арчи возраста 432 года и связи их с высотой фирновой линии ледника Шумского, а также летними осадками на М.Сарканд, методом быстрого преобразования Фурье был выполнен гармонический анализ, определён спектр ритмов различной продолжительности за период с 1556 по 1980 гг. В результате построена многофакторная модель, учитывающая авторегрессию и ритмику изменения величины годовых колец, а на их основе – изменения количества летних осадков, главного фактора режима баланса массы ледника, и изменения высоты его снеговой линии (рис. 3).

В дополнение к нашим данным приводятся графики изменения режима двух крупнейших ледников Швейцарских Альп: Большого Алецкого и ледника Гриндельвальд [13, 24].

Сравнительный анализ графиков Б, В, Г и Д показывает, что:

- данные режима колебания размеров указанных ледников Альп очень близки, даже в мелких деталях (ледник Гриндельвальд) они совпадают по времени и физической зависимости от климата с расчётными данными количества летних осадков и высоты снеговой линии на ледниках Джунгарского Алатау за тот же период времени. Этот факт позволяет думать, что выделенные ритмы реально существуют в природе Земли и оказывают своё влияние на режим метеоусловий и динамику ледников;
- долгопериодные ритмы природных процессов являются надёжными показателями событий, развивающихся в пределах всей планеты и могут выступать в роли аналоговых прогнозов на ближайшее будущее.

По данным этого анализа (подкреплённого натурными наблюдениями) ледники последней стадии наступания (фернау в голоцене) в конце 19 – начале 20 века вышли из стационарного состояния; в 20-х годах они начали заметно отступать; а с 1970 г баланс их массы устойчиво стал

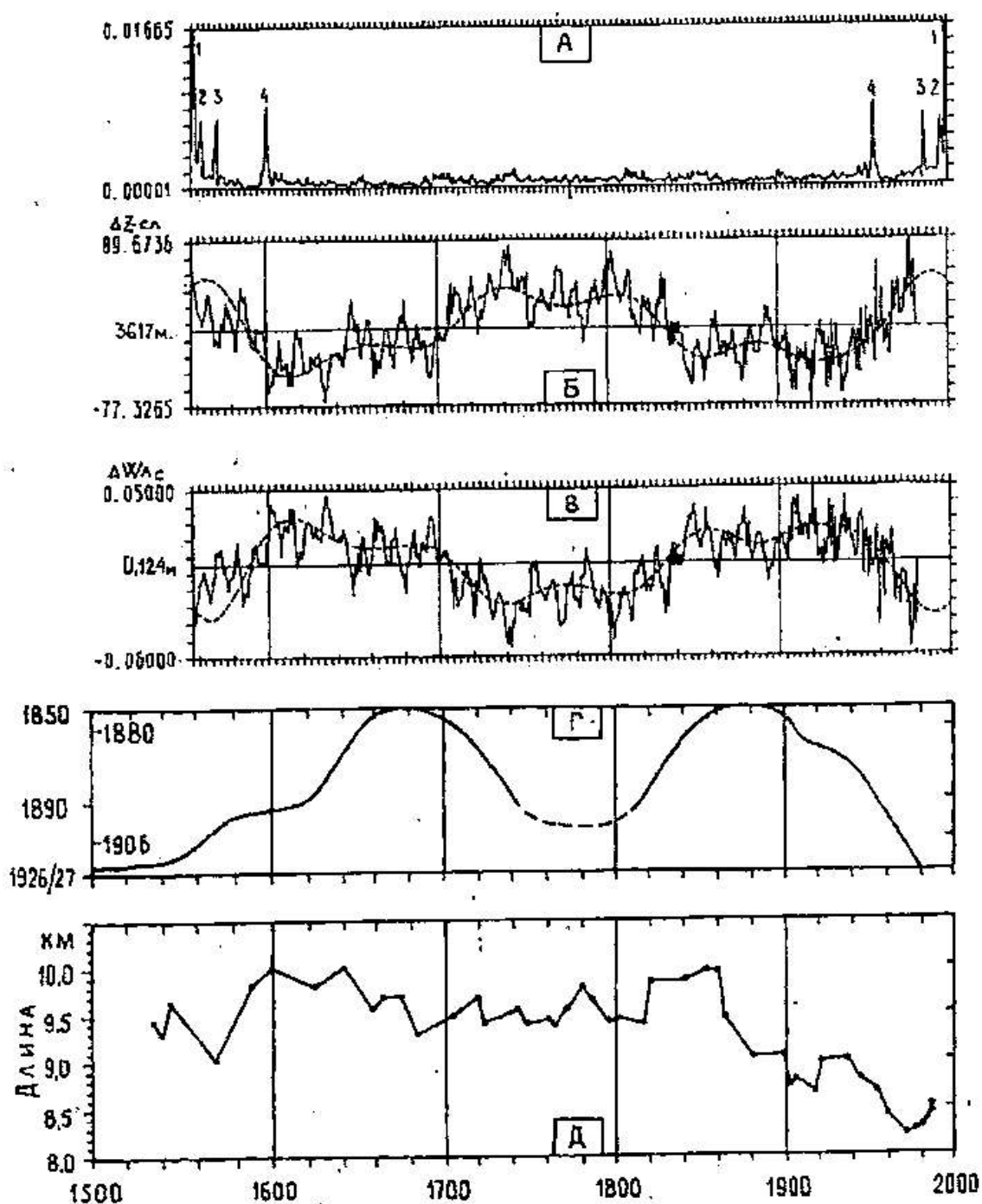


Рис. 3. Спектральный анализ стилов арчи (можжевельника полушаровидного) за 1556-1980 гг., возраст 432 г., взятых в долине р. Арчэвая (бассейн р. Малый Баскан) вблизи ледника Шумского на северном склоне Джунгарского Алатау. А - спектрограмма ритмов синхронных колебаний летних осадков и снеговой линии продолжительностью: 1 - 256 лет, 2 - 79 лет, 3 - 29 лет, 4 - 9 лет; Б - разностная кривая (относительно нормы = 3617 м) этигенеза высоты снеговой линии на леднике Шумского за 425 лет; В - разностная кривая (относительно нормы = 0,124 м) этигенеза летних осадков на М Сарканд (VI - 10/IX) за 425 лет. Пунктирными линиями показаны интегральные кривые аппроксимации полиномом 15-й степени хода изменения высоты снеговой линии и количества летних осадков в ритме продолжи-

тельностью 79 лет с прогнозом до 2000 г.; Г - колебания Большого Алячского ледника за последние 2500 лет в масштабах его положения в 1850 - 1981 гг. по радиоденситометрическим и радиоуглеродным данным по [13]; Д - изменения длины ледника Гриндельвальд в Швейцарии за 448 лет (с 1534 по 1982 гг.); даты измерений обозначены точками по [24].

отрицательным (летние осадки стали активно уменьшаться, а высота снеговой линии – расти). По данным нашего долгосрочного прогноза оледенение гор в состоянии отрицательного баланса должно находиться ещё около 100 лет, т.е. приблизительно до 2100 г и более. Но к этому времени, согласно выше названному прогнозу устойчивости существования ледников, основная их масса, расположенная на дне долин рек, должна исчезнуть.

Уменьшение запасов льда в горах отразится на доле ледниковых вод в стоке рек; увеличится засушливость климата, что скажется на выживаемости растительного и животного мира; потребуется перестройка всех видов народного хозяйства на меньшее потребление воды и работа в социальной сфере по ограничению народонаселения на территории бассейна.

Учитывая выше сказанное, мониторинг режима горных ледниковых систем в ближайшие десятилетия будет играть решающую роль в оценке экологии предгорных территорий и стока рек Или-Балхашского бассейна.

Возможности управления режимом горных ледников в период устойчивого их сокращения.

Грядёт время, когда Казахстан преодолет экономический кризис и активно начнёт возрождать своё хозяйство. На юго-востоке республики это возрождение будет связано с водными ресурсами Или-Балхашского бассейна. Воду используют все виды народного хозяйства, но особенно в большом объёме сельское – для целей орошения. Однако, недостаток водных ресурсов уже сейчас накладывает ограничения на рост водоёмких отраслей народного хозяйства. Для решения водной проблемы юга Казахстана ещё при Советской власти разрабатывали проекты переброски вод рек Сибири, в частности был построен канал Иртыш – Караганда, а также ограничения на строительство водоёмких предприятий. В то же время в реках Или-Балхашского бассейна имеются ещё довольно значительные местные водные ресурсы, которые целесообразно использовать для решения водной проблемы – это ледники и высокогорные снега. Поэтому, одним из способов увеличения водных ресурсов (и возможно основным) является активное использование ледников и снежного покрова горных хребтов Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау, венчающих бассейн р. Или и оз. Балхаш. Значение

ледникового питания велико ещё и потому, что оно поступает в реки в тёплый период года, когда в нём испытывается наибольшая потребность. Сокращение площади оледенения приводит к уменьшению не только ледникового, но и общего стока рек, берущих начало из ледников. В то же время потребность и дефицит в воде в предгорных и горных районах с каждым годом становится острее и, особенно, в маловодные годы.

Исходя из того, что горные ледники являются аккумуляторами высококачественной воды и холода, обеспечивающими стабильный сток горно-ледниковых рек, а соответственно, и нормальное функционирование народного хозяйства горных и предгорных районов, назрела необходимость решения нацеленного управления режимом горных ледников и стоком ледниковых рек. Проблема управления режимом горных ледников не нова, её давно и наиболее активно разрабатывают российские гляциологи на примере Кавказа и Тянь-Шаня [1 - 3]. Основное внимание в 50-60 годах было обращено на вопрос искусственного усиления таяния льда и снега, с целью получения добавочного количества воды [1, 22]. В это же время И.В. Бутом [2] было предложено искусственно увеличивать аккумуляцию на ледниках путём активного воздействия на облака в горных районах. Реальность таких мероприятий очевидна, если учесть размеры ледников и большую повторяемость над ними мощных облачных систем.

Метод искусственного усиления таяния снега и льда не нашёл своего применения, так как уже в 70-х годах стало совершенно очевидно, что ледники перешли в состояние устойчивой деградации.

В.М. Котляков совершенно справедливо считает, что искусственное воздействие на нивально-гляциальные процессы для решения проблемы регулирования стока "...обязательно должны быть комплексными. К ним относятся искусственно усиление таяния ледников, увеличение таяния сезонного снежного покрова в нужное время, перераспределение снегозапасов путём искусственного спуска лавин и создание снежников, использование вод ледниково-подпрудных и завальных озёр, а также внутрiledниковых водных ёмкостей, устройство водохранилищ в горах, намораживание наледей в холодный период и их таяние — в тёплый, искусственное увеличение твёрдых атмосферных осадков в областях питания ледников и др." [8].

Квазистационарность условий облучения Земли и состояния её поверхности обуславливают определённое положение фронтальных зон, особенности циклонической деятельности в них, а также основные осо-

бенности влагооборота. Массовость развития циклональных возмущений и сохранение направленности их процессов обеспечивают надёжную уверенность в существовании долговременных связей режима горных ледников с процессами циркуляции атмосферы.

Есть ряд работ, посвящённых использованию льда в различных отраслях народного хозяйства: вопросами регулирования речного стока с помощью ледохранилищ занимался Д.С. Громан [5]; группа авторов в монографии, посвящённой управлению режимом горных ледников и стоком рек [3], разработала комплексный метод «ледотермического регулирования и управления технологическими и природными процессами» (ЛРУ). Эти же вопросы описываются в работе [10]. Рассмотрим основные положения этого метода и возможности его реализации в условиях Или-Балхашского бассейна. Сущность метода состоит в аккумуляции, потреблении и воспроизводстве в ирригационных, промышленных и иных целях избыточного стока рек в зимний период, избыточного зимнего объёма воды водохранилищ и озёр, рациональном использовании снежного покрова горных районов. При этом вода переводится в лёд посредством использования естественного холода. В основе метода лежит естественный ледотермический цикл «ледообразование ↔ ледотаяние», обладающий большим суммарным энергетическим потенциалом фазовых превращений «вода ↔ лёд». Применительно к горным районам ледотермическое регулирование и управление позволяет решить две задачи:

- изменить режим ледников с целью установления положительного баланса у них и довести их размеры до оптимальных при современных климатических условиях;
- изменить ледниковый и общий сток рек, перераспределив его с зимнего периода на летний и с многоводных лет – на маловодные для компенсации имеющегося дефицита.

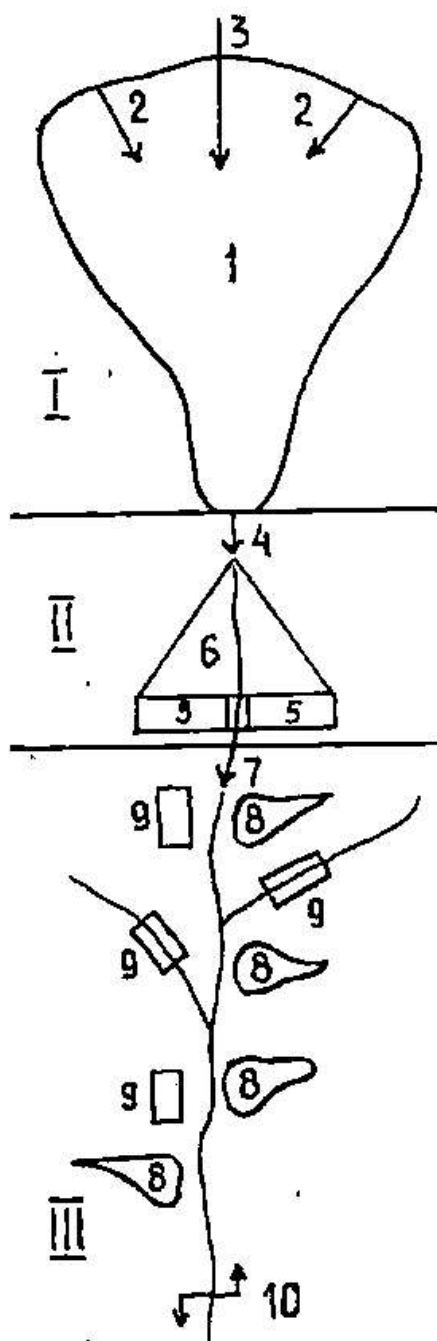
Положительный баланс массы горного ледника отмечается при условии превышения годового или многолетнего объёма аккумулярованных твёрдых осадков над соответствующей абляцией, которая полностью зависит от теплового баланса ледника в летний период года. Реализация этого условия и получение тем самым положительного баланса массы возможно в результате применения комплексного метода ЛРУ с применением в этих целях ряда специальных устройств, обеспечивающих одновременно управление режимом ледников и регулирование стока рек в пределах горной части бассейна.

Каждый бассейн реки условно разделяется на три зоны, в которых производится свой комплекс работ (рис. 4):

Первая зона - гляциальный бассейн ледника;

Вторая зона - часть горноледниковой долины (протяжённостью 1–3 км), непосредственно примыкающая к концу языка ледника;

Рис. 4. Зоны ледотермического регулирования в горно-ледниковом бассейне. I - III – зоны; 1 – ледник; 2 – сброс лавин на ледник; 3 – искусственные осадки; 4 – сток с ледника; 5 – искусственный массив льда; 6 – буферная ёмкость; 7 – сток из зоны II в зону III; 8 – лавинные снежники; 9 – искусственные массивы льда; 10 – замыкающий гидрологический створ.



Третья зона - охватывает горную часть долины реки до замыкающего створа.

Исходя из этих задач, определяется и соответствующий комплекс основных технологических мероприятий, выполняемых в различном объёме в зависимости от сезона года.

В первой, высотной зоне объём осадков, выпадающих на ледник, можно увеличить двумя способами: искусственным усилением выпадения осадков из облаков и усилением лавинного питания. Вопросу искусственного увеличения осадков посвящено большое количество работ, есть и практические эксперименты в горах [4, 12].

Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что при современных технических средствах и реагентах может быть получено су-

щественное увеличение осадков на площади до 10 000 км². Применение авиационных средств доставки реагентов позволяет реально увеличить объём осадков на 10–20% [11].

Эффект, получаемый от искусственного увеличения осадков в холодный и тёплый периоды, для бассейна горноледниковой реки будет различным. В холодный период все выпавшие дополнительные осадки пойдут на увеличение снеготранспорта, не изменяя режим ледникового стока; в тёплый же период искусственные осадки будут выпадать в высокогорной зоне в твёрдом виде, а ниже – в виде жидких. Поэтому в области аккумуляции ледников они пойдут не только на увеличение питания, но приведут к уменьшению абляции ледников в связи с увеличением альбедо их поверхности. В нижних зонах, где осадки выпадают в жидком виде, они дадут в тёплый период увеличение речного стока.

Снежные лавины имеют довольно большое значение в питании ледников и для некоторых морфологических типов нередко являются основным источником. В то же время на поверхность ледников лавинами сносится только часть снега, остальной же снег постепенно стает или же испаряется. Испарение нередко достигает 25–30% от максимального запаса снега на северных склонах и до 100 % – на южных [6]. В связи с этим организация оптимального искусственного усиления лавинных процессов в гляциальной зоне может дать ледникам довольно значительное дополнительное питание – около 20–30% от общего накопления на ледниках.

В летнее время вполне реальным является снижение абляции (зависящей от количества тепла, поступающего на ледник в дневное время в виде прямой и рассеянной солнечной радиации) путём экранирования ледника плотной дымовой завесой при помощи шашек нейтрального белого дыма НДШ, которые создают плотную дымовую завесу, перемещающуюся над поверхностью ледника за счёт горно-долинных ветров [7]. Другой способ – закрытие языка ледника искусственно создаваемым мелкодисперсным водным экраном (туманом), генерируемым у конца языка ледника специальными водомётными установками, который адиабатически усиливается при его переносе долинным ветром вверх по леднику. В результате происходит снижение турбулентного теплообмена и уменьшение теплосодержания восходящего на ледник долинного ветрового потока. Сокращение абляции в результате создания туманов и дымового экрана составит: 52% - при создании туманов охлаждения, 62% - при создании туманов увлажнения и 85% - при создании дымового экрана [3].

Таким образом, комплекс целенаправленных активных воздействий на аккумуляцию и абляцию позволяет увеличить естественный баланс массы ледника в 1,04 – 1,35 раза, т.е. баланс массы будет положительным даже при экстремально низких количествах осадков или экстремально высоких летних температурах воздуха. Это позволит улучшить общее состояние ледников, а в маловодные годы – дать дополнительную воду в реку путём усиления таяния ледников в результате искусственного уменьшения количества облачности в районе ледников в дневное время [4].

Применение всех видов названных работ, направленных на изменение баланса массы ледников, целесообразно и возможно только на крупных и легко доступных ледниках. На небольших ледниках, расположенных, как правило, на больших высотах, достаточно изменить только аккумуляцию, чтобы баланс их массы стал положительным.

Во второй высотной зоне горной долины ниже конца ледника увеличение объёма аккумуляции может быть реализовано намораживанием льда в холодный период года у конца ледника, увеличивая тем самым его длину. Для этих целей используется сток, вытекающей из-под ледника реки, объёмы моренных и других озёр или же специально созданные небольшие водоёмы ниже конца языка ледника. Размер возможного увеличения объёма и длины ледника определяется, в основном, гидрологическими и частично климатическими условиями горноледникового бассейна. Эти работы можно выполнить при помощи комплексной ледотермической установки (ЛТУ), предназначенной для управления режимом ледников и регулирования ледникового стока. ЛТУ представляет собой единую систему инженерных устройств с автоматическим или дистанционным управлением технологических мероприятий. Главными технологическими узлами ледотермического регулирования и управления (ЛРУ) являются: водомётные установки, генераторы белого дыма, снегогенераторы и станция автоматического управления датчиками основных метеорологических элементов, регистрируемых метеорологической станцией.

За период с отрицательными температурами воздуха в пределах **первой и второй зон** ледотермических работ, можно наморозить массив льда толщиной не менее 20 м [3]. Учитывая, что таяние за тёплый период в пределах этих зон не превышает 10 м, ежегодное приращение слоя льда составит 10 м. Водные ресурсы в холодный период, хотя и ограниченные, всё же позволяют наморозить у многих ледников значительные объёмы льда.

Таким образом, суммарное увеличение аккумуляции за холодный период года за счёт искусственного увеличения выпадения твёрдых осадков, усиления деятельности снежных лавин и намораживания льда составляет не менее 50% от общей годовой аккумуляции ледника.

В третьей зоне сущность ледотермического управления стоком рек состоит в бесплотинной аккумуляции кристаллической «воды» (льда) за счёт оптимального использования зимних потенциалов «холода» и избыточного стока рек с последующим принудительным или естественным размораживанием необходимых объёмов льда для гарантированной компенсации дефицита водообеспечения в летний период. Для Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау избыточный сток рек составляет 23–32% годового среднего многолетнего стока. Особенно целесообразным и рентабельным является использование при ЛРУ избытков зимних объёмов горных водохранилищ для перевода их в лёд. Из моренно-запрудных и завальных озёр может быть изъята вся вода, что будет способствовать предупреждению их возможного прорыва и образования селя.

Намораживание массивов льда ЛБ водой из водохранилищ или естественных озёр может производиться по их контуру, что обеспечит при их летнем таянии постепенное поступление холодной воды в водоём. Это приведёт к снижению температуры воды и соответственно к уменьшению непроизводительных её потерь летом на испарение. При необходимости такие массивы льда можно теплоизолировать и раскрывать для естественного или принудительного таяния только по необходимости.

Суммарное общее приращение водного баланса в горной части бассейна реки составляет в среднем 22 % годового объёма стока реки, регистрируемого в замыкающем створе, из которых 13 % приходится на ледники и 9 % на горную часть бассейна (третью зону). Главным экономическим эффектом ЛРУ является ненужность больших и единовременных капиталовложений в мероприятия для обеспечения водой предгорных районов Казахстана, в том числе и Или-Балхашского бассейна.

Снежные массы, выносимые лавинами на дно долины, являются большим дополнением к общему объёму льда, аккумулярованному в третьей зоне. Объём снега, сносимого на дно долин, целесообразно увеличить путём специально организованных лавинных процессов. Конусы снежных лавин можно искусственно проморозить водой для повышения их плотности до $0,8-0,9 \text{ г/см}^3$, а при многолетнем резервировании покрыть их тепло-

изоляции. Общий объём воды, который возможно накопить за холодный период за счёт снежных лавин, составляет 5–10 % стока реки за этот период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Г.А. Искусственное усиление таяния льда и снега горных ледников // Тр. ИГАН. – 1953. - Вып. 56. - С. 5-43.
2. Бут И.В. К вопросу об активных воздействиях на гляциологические процессы // МГИ. – 1964. - Вып. 10. - С. 183-185.
3. Бакалов В.Д., Громае Д.С., Залиханов М.Ч., Панов В.Д. Управление режимом горных ледников и стоком рек. - Л.: ГИМИЗ, 1990. - 239 с.
4. Бурцев И.И., Мазин И.П., Черников А.А. Управление распределением водных ресурсов с помощью активных воздействий на атмосферные процессы. Проблемы развития водного хозяйства СССР. - М.: Наука. – 1981. - С. 17-26.
5. Громан Д.С. Регулирование речного стока ледохранилищами. - Тр. III Всесоюз. Гидрол. Съезда, т.3.-Л., ГИМИЗ, 1959, С. 341-348.
6. Долов М.А. Особенности микроклимата и испарения с поверхности снежного покрова различно ориентированных склонов // Тр.ВГИ. – 1975. - Вып. 30. - С. 3-41.
7. Кавецкий С.П. Возможности прогнозирования и предотвращения селей гидрометеорологическими процессами. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками в СССР. -Ташкент, 1962, С. 27-33.
8. Котляков В.М. Использование ледников как источников пресной воды.- Проблемы развития водного хозяйства СССР. - М.: Наука, 1981. - С. 27-42.
9. Мачерет Ю.Я., Черкасов П.А., Боброва Л.И. Толщина и объём ледников Джунгарского Алатау по данным аэро радиозондирования.- МГИ, Вып. 62. - М.,1988, С. 59-71.
10. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа.- С.- Петербург, ГИМИЗ. 1993, - 430 с.
11. Сванидзе Г.Г. Проблемы увеличения водных ресурсов путём воздействия на процессы осадкообразования.- Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. т.2. Л., ГИМИЗ, 1988, С. 51-59.
12. Серёгин Ю.А., Власов М.П., Прилепов В.Н. Комплекс наземных генераторов с дистанционной аппаратурой управления для искусственного увеличения осадков в горных районах (комплекс БУКЕТ).- Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО). Зак. № 66. – 16 с.

13. Соломина О.Н., Ольшанский Г.И. Дендроиндексация как один из методов мониторинга нивально-гляциальных явлений и процессов.- МГИ, вып. 73, М.,1992, с. 169-175.
14. Черкасов П.А. К вопросу об основной гляциологической формуле – температурном коэффициенте таяния снега и льда на физической поверхности ледников. - Географические основы устойчивого развития Казахстана.- Алматы, «Гылым». 1998, С. 17-43.
15. Черкасов П.А. Расчёт составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы на примере Джунгарского Алатау.- Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора географических наук. М., 1991, 43 с.
16. Черкасов П.А. Роль мониторинга горных ледниковых систем в оценке экологического и природно-ресурсного потенциала Казахстана. Гидрометеорология и экология, №3. Материалы семинара и международной конференции по изучению климата.- Изд-во «Казгидромет», Алматы, 1997, С.176-186.
17. Черкасов П.А. Сейсмическое зондирование ледников бассейна р. Аганакты Тентекской в хр. Джунгарский Алатау. - Гляциологические исследования в Казахстане, вып. 5, Изд-во «Наука» Каз ССР, Алма-Ата, 1965, С.117-133.
18. Черкасов П.А. Склоновые коэффициенты инсоляции – составляющая часть расчёта температурных коэффициентов таяния снега и льда на физической поверхности ледников.- МГИ, вып. 87, М., 1999, С. 71-77.
19. Черкасов П.А. Температура воздуха и общая облачность в пределах горной ледниковой системы (на примере Джунгарского Алатау).- МГИ, вып. 89, М., 2000, С. 65-77.
20. Черкасов П.А. Температурный коэффициент таяния снега и льда на физической поверхности ледников.- МГИ, вып.82, М., 1997, С. 18-23.
21. Черкасов П.А., Никитин С.А. К методике расчёта объёма горных ледников по данным наземной и воздушной радиолокационной съёмки (на примере Джунгарского Алатау). - Ледники, снежный покров и лавины в горах Казахстана. Алма-Ата, »Наука», 1989, С. 18-37.
22. Щетинников А.С. К вопросу о целесообразности искусственного усиления таяния ледников бассейна р. Сырдарьи.- Тр. САРНИГМИ, 1977, вып. 45(126), С. 3-15.

23. Cherkasov P. A. The variability of mass external rotation and the existence stability of Dzhungarskiy Alatau continental glacial system.- МГИ, вып. 81, М., 1977, P. 50-54.
24. Schmeits M.J., Oerlemans J. Simulation of the historical variations in length of Unterer Grindelwald gletscher, Switzerland.- Journal of Glaciology. Vol. 43, № 143, 1997, P. 152-164.

Институт географии МОиН РК

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТАУЛЫ МҮЗДАҚТАРЫ ҚОРЫНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫНЫҢ ТАБИҒИ ТӘРТІБІ ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫ ДЕГРАДАЦИЯ КЕЗЕҢІНДЕ ОНЫ БАСҚАРУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Геогр. ғылымд. докт. П.А. Черкасов

Қазақстан мұздықтарының балансын зерттеу, температура тәртібінің өзгерісін спектралды талдау негізінде 19 ғасырдың аяғы – 20 ғасырдың басында мұздықтар тұрақты жағдайдан шығып, қазіргі кезде олардың балансы тұрықты теріс болып қалғандығы анықталды. Бұл өзен ағыстарындағы мұздақ суларының үлесінің өзгеруіне апарып соғып, аймақ экологиясына теріс ықпалын тигізеді. Мұздықтардың балансын жақсарту мақсатында жауын-шашындар мен көшкіндерге белсенді ықпал ету әдістері ұсынылады.