

УДК 551.524.34

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ВЫСОКОГОРЬЯ ИЛЕЙСКОГО АЛАТАУ  
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ**

Доктор геогр. наук Е.Н. Вилесов

*На основе регулярных стандартных наблюдений на высокогорной метеостанции Мынжилки анализируются изменения основных климатических элементов – температуры воздуха и атмосферных осадков, а также связанных с ними величин испаряемости, коэффициента увлажнения и степени континентальности климата за 70 лет (1937...2006).*

В последние десятилетия в мировой научной литературе широко обсуждается вопрос об изменениях климата, наблюдающихся как в отдельных регионах, так и на всей планете. Ученые мирового сообщества всё в большей степени признают реальность глобального потепления. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), во второй половине 20 века температуры приземного воздуха в Северном полушарии были выше, чем в любой другой 50-летний период за последние 500, а то и 2000 лет, а 11 из последних 12 лет были самыми теплыми за всю историю метеорологических наблюдений.

Это потепление достаточно заметно проявляется и в нашем Центрально-азиатском регионе. Обзор изменений климата на территории Казахстана за прошедшее столетие по данным 11 длиннорядных метеостанций представлен в статье С.А. Долгих и др. [3]. Детальный анализ климатических изменений в одном из самых аридных районов Казахстана, восточной части пустыни Кызылкум, дан в нашей работе [2].

В предлагаемом сообщении оцениваются климатические изменения в высокогорной гляциально-нивальном зоне Илейского Алатау. Исходной информацией для такого анализа и оценки современных тенденций в рядах основных метеорологических величин послужили данные о средней месячной температуре приземного воздуха и месячных суммах атмосферных осадков на метеостанции Мынжилки, расположенной в верховьях долины р. Малой Алматинки на высоте 3017 м. Метеонаблюдения на ней были начаты в июле 1935 г. 10 ноября 1941 г. снежной лавиной метеостанция была полностью разрушена (тогда погибли два её наблюдателя), и новый дом станции поста-

вили в 200 м к северу. Для анализа взят период непрерывных измерений с 1937 по 2006 г., охватывающий ровно 70 лет. При этом во временных рядах температуры воздуха и осадков учтены поправки за счет смены числа сроков наблюдений в сутки и замены дождемера Нифера на более совершенный осадкомер Третьякова. Использованы также данные наблюдений за 35 лет (1972...2006 гг.) на высокогорном стационаре Туюксу-1, принадлежащем Институту географии МОН РК.

Наглядное представление о температурном режиме и его межгодовой изменчивости дают графики хода средних годовых температур воздуха, их 5-летних скользящих средних (рис. 1), а также последовательной суммы членов временного ряда – кумуляты (рис. 2).

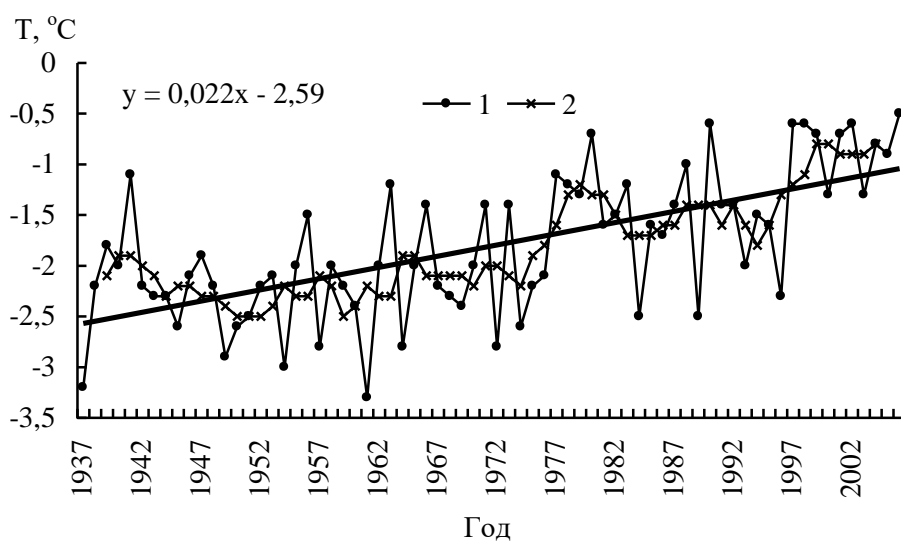


Рис. 1. Ход средней годовой температуры воздуха на МС Мынжилки и линия тренда за период 1937...2006 гг. 1 – годовой ход температуры воздуха; 2 - пятилетние скользящие средние значения температуры воздуха.

Как следует из рис. 1, на МС Мынжилки минимальная средняя годовая температура составляет минус 3,3 °С (1961 г.), а максимальная – минус 0,5 °С (2006 г.). Судя по [5], абсолютный минимум температуры равен минус 32 °С (1969 г.), а абсолютный максимум – плюс 24 °С (1975 г.). Среднее многолетнее значение годовой температуры (норма) за 70 лет составляет минус 1,8 °С. На МС Туюксу-1, расположенной на 423 м выше Мынжилков, минимум средней годовой температуры за период наблюдений составил минус 5,1 °С (1972 и 1974 гг.), максимум – минус

2,9 °С (2006 г.), самым холодным месяцем в 35-летию был декабрь 1984 г. – минус 18,1 °С, а самым теплым – август того же 1984 г. – плюс 9,0°С. Значение нормы годовой температуры за 35 лет на верхней станции равно минус 3,9 °С, т.е., казалось бы, на 2,1 °С ниже, чем на МС Мынжилки. В действительности эта разность должна быть увеличена до 2,5 °С, при условии сопоставления данных за идентичный (в нашем случае – 35-летний) промежуток времени. Среднее за 35 лет значение вертикального температурного градиента между МС Мынжилки и Туюксу-1 составило 0,6 °С/100 м, изменяясь от 0,50 °С/100 м в августе до 0,68 °С/100 м в июне.

При анализе межгодового хода температуры на МС Мынжилки было проведено сравнение термических условий двух почти одинаковых по продолжительности периодов: 1937...1972 и 1973...2006 гг. В течение первых 36 лет средняя годовая температура составила минус 2,2 °С (на 0,4 °С ниже 35-летней нормы). Во второй 34-летний период средняя температура года была равна минус 1,4 °С (на те же 0,4 °С выше нормы).

Как указывалось выше, 1996...2006 гг. на Земле были самыми теплыми за период инструментальных наблюдений. Аналогичные тенденции отмечаются и в горах нашего региона. На МС Мынжилки в первые 6 лет 21 века (2001...2006 гг.) их средняя температура возросла до минус 0,8 °С, т.е. на 1 °С выше многолетней нормы и на 1,4 °С выше средней годовой температуры за десятилетие 1941...1950 гг. В 2006 г. здесь зафиксировано самое высокое значение средней годовой температуры с 1937 г., равное минус 0,5°С, с положительным отклонением от нормы в 1,3 °С. Согласно прогнозам экспертов ВМО, ожидается, что 2007 г. побьет все предыдущие температурные рекорды (в масштабах планеты). И прошедшая (2006...2007 гг.) аномально теплая зима в нашем регионе пока вполне оправдывает этот прогноз: на МС Туюксу-1 в декабре 2006 г – феврале 2007 г средняя температура составила минус 10,6 °С, т.е. на 2 °С выше 35-летней нормы.

Средняя величина линейного тренда всего 70-летнего ряда равна 0,2 °С/10 лет. Во второй половине периода измерений средняя годовая температура воздуха повышалась более интенсивно – по 0,3 °С/10 лет.

Средние значения зимних (декабрь–февраль) и летних (июнь–август) температур за 70 лет составили, соответственно, минус 10,5 и 6,9 °С. При этом нормы средних летних декадных (по 10-летиям) температур с 60-х гг. к началу 21 века повысились с 6,5 до 7,6 °С, т.е. на 1,1 °С, по 0,2 °С/10 лет. В то же время «нормы» средних зимних температур с 70-х годов под-

нялись на  $1,4^{\circ}\text{C}$ , от минус  $10,9$  до минус  $9,5^{\circ}\text{C}$ , по  $0,4^{\circ}\text{C}/10$  лет. Таким образом, интенсивность повышения зимних температур была вдвое выше, чем летних. Отсюда с очевидностью следует, что повышение средних годовых температур в последние десятилетия в изучаемом регионе произошло в основном за счет потепления зимних сезонов.

Что же касается переходных сезонов, то весна (март–май) в районе Мынжилков со средней многолетней температурой минус  $2,4^{\circ}\text{C}$  на  $1,1^{\circ}\text{C}$  прохладнее осени (сентябрь–ноябрь). Абсолютный минимум весенней температуры составил минус  $4,7^{\circ}\text{C}$  в 1960 г., а максимум – минус  $0,1^{\circ}\text{C}$  в 1997 и 2001 гг. Аналогичные экстремумы осенних температур равны минус  $3,9^{\circ}\text{C}$  в 1949 г. и  $1,1^{\circ}\text{C}$  в 1990 г. В первую пентаду 21 века весенние температуры были на  $1,3^{\circ}\text{C}$ , а осенние на  $1,2^{\circ}\text{C}$  выше нормы. Темпы повышения весенних и осенних температур за все 70 лет оказались примерно одинаковыми и равными  $0,3^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Кумулятивная кривая на рис. 2 показывает, что с конца 30-х гг. прошлого века до его 70-х гг. происходило накопление отрицательных разностей годовых температур (относительно нормы, равной минус  $1,8^{\circ}\text{C}$ ). С середины 70-х гг. ускоренными темпами шло повышение средних годовых температур, достигшее в 2006 г. минус  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

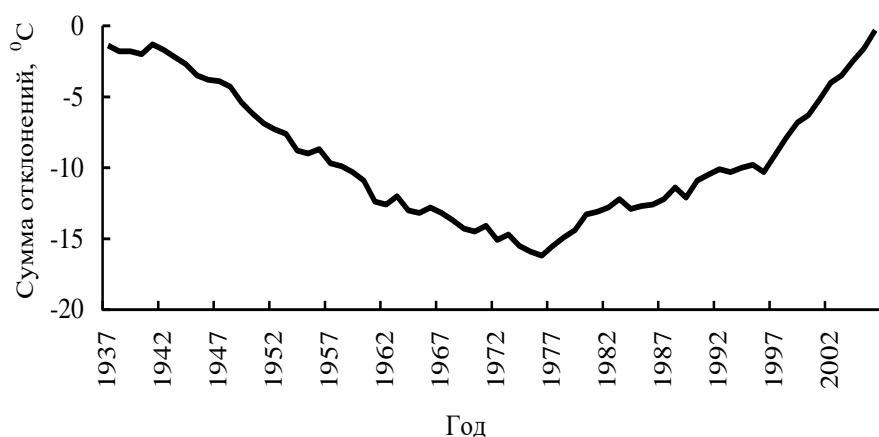


Рис. 2. Кумулятивная кривая аномалий средних годовых температур воздуха по МС Мынжилки за период 1937...2006 гг.

В свете выявленных тенденций изменения температуры представляет интерес знание того, на какие годы за 70 лет наблюдений на МС Мынжилки пришлись самые теплые и самые холодные месяцы (табл.).

## Экстремальные средние месячные температуры воздуха, °С

Месяц	Средняя температура самых теплых месяцев	Год	Средняя многолетняя температура	Средняя температура самых холодных месяцев	Год
январь	-7,5	2003	-11,3	-15,8	1969
февраль	-5,7	1999	-10,7	-16,5	1945
март	-2,8	2005	-7,0	-10,1	1992
апрель	2,8	1997	-2,1	-6,3	1961
май	4,9	2001	1,9	-0,9	1958, 1960
июнь	9,0	1990	5,5	2,8	1954
июль	10,4	1956	7,9	5,3	1972
август	10,9	1984	7,4	5,2	1940
сентябрь	7,4	1990	3,8	0,7	1949
октябрь	2,8	1997	-1,2	-5,4	1987
ноябрь	-2,7	1994	-6,4	-11,9	1937
декабрь	-5,7	1978	-9,5	-16,0	1984

Как следует из данных таблицы, экстремальные значения средних месячных температур наиболее теплых месяцев, кроме июля, зафиксированы за последние 30 лет, в т.ч. за три месяца (январь, март и май) – уже в 21 веке. Напротив, средние месячные температуры наиболее холодных месяцев отмечаются преимущественно до 80-х гг. прошлого столетия. На верхней метеостанции наиболее теплые месяцы приходятся на те же годы, что и на Мынжилках, а самые холодные, из-за меньшей длительности ряда измерений, – на другие даты. Такое распределение экстремумов средних месячных температур вполне согласуется с установленными тенденциями, свидетельствующими о заметном потеплении климата в горах Илейского Алатау в последней четверти 20 века.

Перейдем к рассмотрению изменения количества атмосферных осадков. Северный макросклон Илейского Алатау с его барьерным эффектом характеризуется достаточно высоким увлажнением. Временной ход годовых сумм осадков на МС Мынжилки, представленный на рис. 3, показывает, что их количество подвержено заметным колебаниям от года к году. Абсолютный минимум осадков зафиксирован в 1943 г. – 516 мм, а максимум, превышающий минимум в 2,3 раза, – в 1966 г. – 1197 мм. Средняя многолетняя годовая норма осадков за 70 лет составляет 851 мм. На МС Туюксу-1 эта норма за 35 лет равна 1081 мм при минимуме 681 мм

в 1997 г. и максимуме 1508 мм в 1987 г. Средняя величина вертикального градиента годовых сумм осадков между МС Мынжилки и Туюксу-1 составляет 50 мм/100 м.

Осадки выпадают преимущественно в весенне-летнее время на полярном фронте, разделяющем тропические и полярные воздушные массы. С апреля по август в среднем многолетии выпадает 610 мм осадков, т.е. 72 % от их годовой суммы. Соответственно, в осенне-зимний период, с сентября по март, сумма осадков составляет 241 мм, или 28 % от их годового количества.

В среднем многолетии максимум месячных сумм осадков приходится на июнь – 151 мм (на верхней станции – 180 мм), а минимум на январь – 20 мм (вверху – 29 мм). Абсолютный же месячный максимум осадков зарегистрирован в июле 2003 г. – 340 мм, а абсолютный минимум – в январе 1963 г. – всего лишь 0,5 мм.

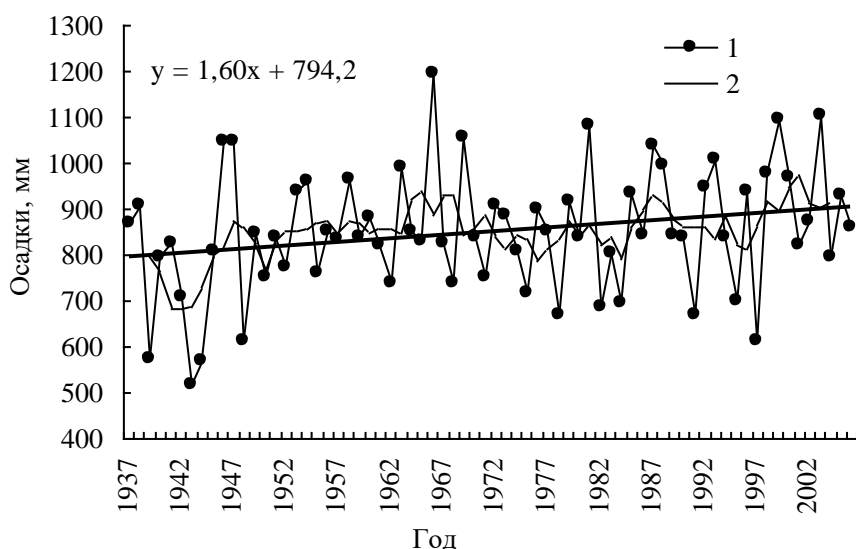


Рис. 3. Межгодовой ход атмосферных осадков на МС Мынжилки и линия тренда за 1937... 2006 гг. 1 – годовой ход осадков; 2 – пятилетние скользящие значения осадков.

В конце первой половины 20 века (1937...1950 гг.) среднее годовое количество осадков на МС Мынжилки равнялось 777 мм, или 91 % от 70-летней нормы. В следующие три десятилетия оно составило 859 мм – чуть выше нормы. В последние два десятилетия 20 века этот показатель достиг 876 мм, т.е. 103 % нормы, а за первые 6 лет 21 века 898 мм – 106 % нормы. Таким образом, можно констатировать, что в

течение второй половины 20 века здесь имело место монотонное увеличение количества осадков, в определенной степени обусловленное повышением температуры воздуха. Среднее значение линейного тренда осадков за это время составило 1,6 мм/год.

Резкие аномалии величин в отдельные годы метеорологи связывают с воздействием различных факторов. Крупные извержения вулканов приводят к планетарным изменениям радиационного и термического режима в результате распространения аэрозоля в атмосфере. Измерения интенсивности солнечной радиации после крупнейших извержений вулканов в 1963 (Агунг), 1980 (Св. Елены), 1982 (Эль-Чичон), 1991 г. (Пинатубо) и др. подтвердили существование устойчивых аэрозольных завес в атмосфере. Так, понижение глобальной температуры в 1992...1993 гг. связывают именно с охлаждающим эффектом аэрозолей, попавших в атмосферу при самом сильном в 20 веке извержении вулкана Пинатубо в июне 1991 г. (о. Лусон, Филиппины). В этот же период произошли извержения ряда вулканов в Андах: 1992 г. – Руис, Колумбия, 1993 г. – Гуаллатиери, Чили, и Эль-Галерас, Колумбия. Возможно, свою лепту в загрязнение атмосферы, в частности, в Центрально-азиатском регионе, внесли продукты горения кувейтских нефтепромыслов во время военных действий Ирака против Кувейта в начале 90-х гг. Кстати, и на МС Мынжилки, температура воздуха в 1993 г. была на 0,2 °С ниже нормы. Соответственно, повышение температуры приземного слоя происходит после очищения от вулканических и других аэрозолей и увеличения прозрачности атмосферы.

Аномально теплые (за период инструментальных наблюдений) условия 1998 г. часто объясняют влиянием Эль-Ниньо (ЭНЮК) в 1997...1998 гг., самого мощного в истории его изучения. И если это так, то в исследуемом регионе влияние Эль-Ниньо 1997...1998 гг. проявилось как раз в 1997, 1998 и 1999 гг., когда годовая температура поднялась до минус 0,6 °С, втрое превысив её норму.

Указанные выше факторы обуславливают климатические аномалии лишь отдельных лет или коротких периодов. А как можно объяснить резкое изменение климата в сторону потепления, начавшееся в Центрально-Азиатском регионе с середины 70-х гг.?

Совершенно ясно, что главным «механизмом», управляющим климатическими изменениями, является циркуляция воздушных потоков. Именно перестройка системы атмосферной циркуляции в регионе Центральной Азии в середине 70-х гг. привела к усилению широтного типа

циркуляции, увеличению повторяемости южно-каспийских, мургабских и др. циклонов и, наоборот, – уменьшению повторяемости арктических вторжений, повышению температуры (особенно в зимний период) и увеличению осадков. К сожалению, на вопрос о первопричине этой перестройки метеорологи и климатологи пока не могут дать сколько-нибудь вразумительного ответа.

Понятно, что изменения одних метеорологических величин не могли не сказаться на других, таких, как испаряемость, коэффициент увлажнения и степень континентальности.

Величина годовой испаряемости  $E$  (мм) за 70 лет рассчитана по известной формуле Тюрка, учитывающей достаточно тесную связь этой характеристики со средней годовой температурой воздуха  $t$  (°C), с введенным нами для условий высокогорья множительным коэффициентом, равным 1,6:

$$E = 1,6(300 + 25t + 0,05t^3). \quad (1)$$

Среднее многолетнее значение испаряемости на МС Мынжилки равно 408 мм при минимуме 346 мм в 1961 г. и максимуме 460 мм в 2006 г.

Величина испаряемости, являясь, согласно (1), функцией  $t$ , следует её годовому ходу. С повышением температуры в последние 10-летия увеличивается и испаряемость. Её средние годовые значения колеблются в пределах от 387 мм в 1937...1940 гг. до 426 мм в декаде 1991...2000 гг. Средняя годовая величина испаряемости в 6-летию 2001...2006 гг. была рекордной, достигнув 448 мм (110 % от нормы). За период измерений средняя скорость увеличения испаряемости составила 9 мм/10 лет.

Знание испаряемости необходимо для вычисления коэффициента увлажнения, который, как известно, представляет отношение годового количества осадков к годовой же испаряемости, характеризуя соотношение влаги и тепла.

По известной градации Н.Н. Иванова [4], изучаемый район относится к зоне избыточного увлажнения. Средняя многолетняя величина коэффициента увлажнения на МС Мынжилки составляет 2,1 при крайних значениях 1,3 в маловодных 1943 и 1997 гг. и 2,8 в многоснежных 1966 и 1969 гг., когда выпало более 1000 мм осадков. Рассчитанные по 10-летиям нормы этого коэффициента изменялись в небольших пределах – от 2,0 до 2,3. Его средняя за последние 16 лет (1991...2006 гг.) величина находилась на среднем многолетнем уровне, несмотря на повышенное количество осадков (884 мм/год). Их увеличение полностью компенсировалось повышением летних температур и испаряемости.



Степень континентальности климата  $K$  (%) определялась по популярной среди климатологов формуле В. Горчинского с нашей поправкой, учитывающей удлинение рядов измерений и изменение климата [1]:

$$K = \left( \frac{1,7A}{\sin \varphi} \right) - 23, \quad (2)$$

где  $A$  – разность температур самого теплого и самого холодного месяцев года, °С;  $\varphi$  – географическая широта.

Средняя многолетняя за 70 лет величина  $K$  для района МС Мынжилки ( $\varphi = 43^{\circ}05'$ ) равна 28 %, что соответствует морскому умеренному климату, при котором  $21 < K < 30$  %. Максимум индекса  $K$  составил 44 % в 1984 г. при  $A = 26,9$  °С, а минимум – 14 % в 1963 г. при  $A = 15,0$  °С.

В отдельные годы (1944, 1945, 1956, 1984 и др.) с высоким значением  $A$  (более 22 °С) степень  $K$  превышала 30 % (умеренно-континентальный климат). С другой стороны, в некоторые годы (1938, 1963, 2003) величина индекса  $K$  была меньше 20 % (мягкий морской климат). Высокая, как и низкая, степень  $K$  в указанные годы может считаться случайным отклонением от её многолетней величины, своего рода «капризом» температурной амплитуды. Большинство лет ряда характеризовалось морским умеренным климатом. В связи с этим уместно отметить такой факт: на МС Мынжилки, располагающейся в зоне альпийских лугов, в среднем многолетии июльская температура (7,9 °С) выше августовской (7,4 °С), а на МС Туюксу-1, уже в нивально-гляциальной зоне, август (5,7 °С) теплее июля (5,6 °С). Более теплый, по сравнению с июлем, август на высотах, превышающих 3400 м, – свидетельство принадлежности снежно-ледникового высокогорья именно к морскому климату.

Таким образом, выявленные тенденции в климатических изменениях высокогорной зоны Илейского Алатау убеждают в том, что в последние десятилетия прошлого и в начале 21 века здесь происходит весьма заметный рост и температуры приземного воздуха, и количества осадков. Местное население, хозяйствующие субъекты, планирующие органы, спортсмены и исследователи-природоведы должны считаться с этими изменениями независимо от того, какими причинами они вызваны, а климатологи – пытаться выяснить природу этих причин. Во всяком случае, если ориентироваться на темпы увеличения рассмотренных метеорологических величин в последние десятилетия, то к 2030 г. средняя годовая температура воздуха в высокогорье Илейского Алатау может повыситься (относи-

тельно последнего десятилетия 20 века) еще примерно на 1°C, а годовая сумма осадков – на 70...75 мм. Разумеется, эти прогнозные цифры нуждаются в уточнении. Тем не менее, выявленные здесь закономерности могут служить определенным экспериментальным подтверждением возможных многолетних изменений климата высокогорья как аргумента, определяющего состояние и баланс массы ледников, лавинной активности, речного стока, изменение высоты верхней границы леса и пр.

Автор благодарен ведущему специалисту кафедры гидрологии суши КазНУ им. аль-Фараби А.Г. Чигринцу за конструктивные советы при подготовке рукописи статьи к печати.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н., Гужавина Е.А., Уваров В.Н. К характеристике континентальности климата Казахстана // Вопросы гидрологии орошаемых земель Казахстана. – Алма-Ата, 1986. – С. 44-54.
2. Вилесов Е.Н., Шакен А. Тенденции изменения основных характеристик климата г. Кызылорды за 105-летний период // Вестник КазНУ. Серия геогр. – 2006. – № 2 (23). – С. 90-98.
3. Долгих С.А., Илякова Р.М., Сабитаева А.У. Об изменении климата Казахстана в прошедший столетний период // Гидрометеорология и экология. – 2005. – № 4. – С. 6-23.
4. Иванов Н.Н. Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия геогр. и геофиз. – 1941. – № 3. – С. 261-288.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 18. Казахская ССР. Книга 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 514 с.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

#### **ҚАЗІРГІ ГЛОБАЛДЫҚ ЖЫЛЫНУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ БИІК ТАУЛЫ ІЛЕ АЛАТУЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ**

Геогр. ғылымд. докторы Е.Н. Вилесов

*70 жыл ішінде Мыңжыл метеостанциясындағы үздіксіз стандартты бақылау негізінде климаттық элементтер, яғни ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашындар, сондай-ақ онымен байланысты шамалар – булану, ылғалдану коэффициенті және климаттың континенталдық дәрежесі талданады (1937...2006).*