

УДК 551.583.2

Я.М. Иваньо, д.т.н.

Иркутская государственная сельскохозяйственная академия

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И СОБЫТИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

В работе рассмотрены вопросы изменчивости экстремальных характеристик тепла и влаги Восточной Сибири. Проанализирована информация за исторический период. Выявлены закономерности изменения рядов значений и событий климатических характеристик. Оценены повторяемости событий.

Ключевые слова: климат, изменчивость, экстремальная характеристика, событие, закономерность, серия, вероятность неоявления события, цикл солнечной активности.

Информация о климатических явлениях. История Восточной Сибири со времен ее освоения землепроходцами насчитывает около 400 лет. В 1618 г. на Енисее воздвигнут Енисейский острог, а затем за менее чем 40-летний период построены ряд острогов на территории нынешней Иркутской области, Республики Бурятия, Читинской области и Республики Саха.

Благодаря значительному количеству летописей о Сибири и Иркутске, история которого по разным версиям насчитывает от 352 до 384 лет, в какой-то степени удалось восстановить ход климатических характеристик за почти 350-летний период [5]. Первые упоминания о природных явлениях можно найти в летописи Лосева А.И., который сообщает о неудачном построении Якутского острога, снесенного в 1621 г. наводнением. В книге Шерстобоева В.Н. приведены свидетельства о неурожаях в Илимском воеводстве в 1663 г., вызванных высоким весенним подъемом уровней воды.

Первые факты, зарегистрированные в архивных документах о неблагоприятных природных явлениях территории, связаны с максимальным стоком различного происхождения: дождевые паводки, весеннее половодье, заторы и зажоры. Попытка регулярных наблюдений за температурой воздуха и некоторыми метеорологическими характеристиками осуществлена в период 1744-1747 гг. Канаевым Н.

Первые измерения зимних минимальных температур принадлежат Гмелину И.Г. В 1735 и 1736 гг. Он производил опыты с термометром Делиля в Енисейске и Киренске.

Среди различных характеристик, описывающих состояние природной среды за многолетний период, особое место можно отвести ряду наблюдений с 1720 г. за датами замерзания и вскрытия Ангары, статистическая структура которого близка к структуре ряда минимальных температур воздуха в Иркутске.

Существующая сеть гидрометеорологических станций и постов, на которой производятся регулярные наблюдения, работает стабильно с 30-х годов XX в.

Поскольку максимальный период регулярных наблюдений по отдельным пунктам и характеристикам превышает немногим более 100 лет, то основные сведения, почти 75%, содержатся в летописях, дневниках, исторических монографиях и документах. Свидетельства прошлого включают в себя описания экстремальных природных явлений, к которым относятся наводнения различного происхождения, засухи, необычные ливни, заморозки, грозы, суровые зимы и другие.

В этой работе оценка колебаний климата построена на выявлении закономерностей изменчивости экстремальных характеристик, представляющих собой абсолютные минимальные и максимальные годовые значения температуры и влажности. При этом учитываются особенности природных условий территории

Восточной Сибири, где ярко выражен резко континентальный климат со значительными перепадами температур, сменяемостью сильных и продолжительных засух мощными наводнениями, вызванными снеготаянием, жидкими осадками, осенним и весенним ледоходами. Исследуемый регион охватывает Иркутскую область и часть территорий Республики Бурятия, Читинской области и Красноярского края. Площадь выделенной зоны с координатами 98-114° в.д. и 52-62° с.ш. составляет более 1,3 млн. км².

Выявлением закономерностей многолетней изменчивости температур, осадков, стока рек Восточной Сибири занимались многие исследователи. В их числе Шостакович В.Б., Вознесенский А.В., Афанасьев А.Н., Резников А.П., Дружинин И.П. и др. [1, 2, 5-7]. Подавляющее большинство трудов по исследованию климата посвящено рассмотрению годовых и сезонных значений температурных и влажностных характеристик.

Ответить на вопрос о колебании климата за почти 400-летний период невозможно без систематизации и анализа экстремальных характеристик и комплексного их рассмотрения [4]. В качестве информации о временных изменениях состояния природной среды рассмотрены хронологические последовательности минимальных и максимальных температур воздуха и почвы, наибольших и наименьших уровней и расходов воды, максимальных суточных осадков, дат вскрытия и замерзания рек, максимальных уровней заторных и зажорных явлений, глубин проникновения 0° в почву и другие. Как дополнительный материал использованы сведения о годовых и месячных температурах, осадках и биологической урожайности. Перечисленные характеристики описывают многолетние изменения состояния почвы, водной среды и приземной атмосферы.

При анализе гидрометеорологических рядов использованы материалы более 40 станций и постов. Эти систематизированные данные имеют следующие недостатки: различная продолжительность рядов по пунктам наблюдений и характеристикам, неоднородность и недостаточность.

Изменчивость характеристики воздуха и почвы. Поскольку Восточная Сибирь отличается резко континентальным климатом, интерес вызывают колебания зимних минимальных температур. В 1915 г. зарегистрирована наименьшая зимняя температура за период существования метеорологического пункта наблюдений в Иркутске - -50.2°С. Исследование срочных данных позволило получить связи между усредненными и абсолютными значениями температуры по данным 1891-2006 гг. В частности, уравнение, описывающее связь мгновенных минимальных температур и их осредненных значений за 6 ч по данным Иркутска, имеет вид

$$y=1.055x+0.655. \quad (1)$$

В этом выражении

x – абсолютная минимальная зимняя температура, °С;

y – осредненное значение наименьших показаний термометров за 6ч.

Коэффициент детерминации связи равен 0.89. Увеличение периода усреднения приводит к ослаблению связей между мгновенной минимальной температурой и значениями заданной продолжительности.

Наибольшая асинхронность наблюдается между многолетними колебаниями абсолютного минимума температуры и усредненной годовой температурой. При этом в отличие от наибольших летних температур зимние показания вносят наибольший вклад в годовые величины. Дисперсия минимальных зимних температур превышает

аналогичный параметр максимальной летней температуры. Причем продолжительность зимнего периода превышает летний отрезок времени примерно на 40%.

В ряде работ автора статьи исследована пространственно-временная изменчивость многолетней минимальной зимней температуры. По информации о весенних ледоходах на Лене, датах вскрытия и замерзания Ангары и фрагментарных историко-архивных сведениях о срочной минимальной зимней температуре Иркутска в начале и середине XIX в. реконструирована температура за почти 200-летний период. Восстановлены события о минимальной температуре воздуха продолжительностью около 300 лет. События представляют собой температуры ниже некоторой отметки. В качестве таковой принята температура воздуха t_c , не превышающая значение

$$t_c = \bar{t} - \sigma / 2, \quad (2)$$

где

\bar{t} - среднее значение минимальной температуры воздуха за многолетний период, °С;
 σ - ее среднее квадратическое отклонение. Для Иркутска минимальная зимняя температура переходит в разряд события при -41°C .

При анализе событий многолетний период разделен на отрезки времени, соответствующие примерно 10-летнему периоду. Применение авторегрессионного анализа к ряду минимальных температур, объединяющих множество пунктов наблюдений на территории Восточной Сибири, и определение интервалов с наиболее вероятными связями характеристики низких температур по данным отдельных метеорологических рядов показало, что отрезки 11-летних циклов солнечной активности могут быть использованы для анализа группировок событий минимальных температур. Кроме того, в ряде работ автора показано, что имеет место связь между минимальными зимними температурами и максимальными годовыми индексами чисел Вольфа и индексами максимальной мощности 11-летнего цикла.

Разделение многолетнего периода на отрезки, соответствующие 11-летним циклам солнечной активности, имеет недостатки и преимущества. Во-первых, пока не создано строгого теоретического обоснования солнечно-земных связей. Во-вторых, 11-летние циклы солнечной активности не постоянны, колеблясь в диапазоне от 9 до 14 лет между минимальными значениями чисел Вольфа. Вместе с тем 11-летние циклы имеют физическое обоснование и довольно детально изучены. Более того, комплекс гидрометеорологических характеристик лучше рассматривать в пределах заданных, а не плавающих интервалов. Другими словами, автор придерживается гипотезы о неоднородности многолетних гидрометеорологических рядов экстремальных характеристик и возможности их разделения на хронологические последовательности, соответствующие 11-летним циклам солнечной активности.

В некоторые эпохи события природных экстремальных характеристик формируются группами или сериями, а в другие – не проявляют себя. На рис.1 показаны события минимальной температуры воздуха N_t и продолжительности свободного ото льда русла N_T на Ангаре у Иркутска в пределах 11-летних циклов солнечной активности с 1724 по 2005 гг. Период начинается с цикла -2 , а завершается значением 23 согласно нумерации, предложенной в Цюрихе.

Обращает на себя внимание проявление серий холодных зим в первые десятилетия XIX и XX вв. и их незначительное количество в предшествующих циклах. Это особенно заметно для 22-го цикла, в котором холодные зимы отсутствовали.

По информации ряда минимальных температур t_{min} за 200-летний период можно сделать вывод, что линейный тренд в их изменении отсутствует. Процесс колебания зимней минимальной температуры носит волнообразный характер. В пределах первых

10-20 лет начала века наблюдаются серии холодных зим. Особо низкие минимальные температуры зарегистрированы в начале 10-х годов. 100-летние периоды делимы на 33-летние циклы, на конечных отрезках которых проявляется событие. Низкие минимальные температуры наблюдались и в точках, соответствующих примерно 2/3 от начала 33-летнего цикла. Заметим, что выявленные закономерности подтвердились в начале XXI в. В 2001 г. зарегистрирована минимальная температура -42.9° , находившаяся на уровне значения 1969 г. Если выявленные закономерности, имевшие место за последние 200 лет, не будут нарушены, то в 10-е годы XXI в. высока вероятность формирования холодных зим в Восточной Сибири.

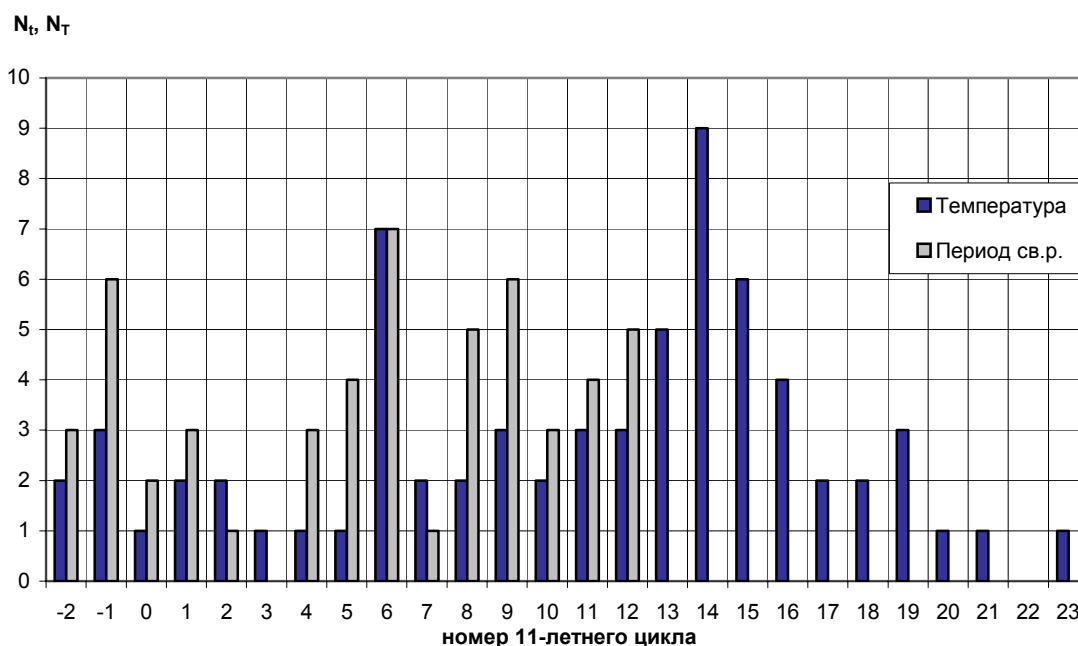


Рисунок 1- Распределение событий минимальных температур и периодов свободного русла Ангары у Иркутска в 11-летних циклах солнечной активности за 1724-2005 гг.

Колебания низкой минимальной температуры в Иркутске, как правило, соответствуют процессам формирования холодных зим на территории региона, что подтверждает удовлетворительная связь между рядами температур этой станции и группой пунктов наблюдений территории Восточной Сибири.

Пространственно-временная изменчивость температур поверхности почвы обычно повторяет колебания температур воздуха.

Из экстремальных параметров, характеризующих влагу атмосферы, можно выделить максимальные суточные осадки x_m и осадки наибольшей продолжительности x_T . С ними связано формирование, прежде всего, другой экстремальной характеристики – максимального расхода дождевого паводка. В отличие от западных регионов России, где сильные ливневые осадки являются нормой, для Восточной Сибири их интенсивность и частота значительно ниже.

События максимальных суточных осадков, представляющие собой значения, превышающие величины обеспеченностью 16%, не обладают закономерностями, характерными для зимней минимальной температуры. Характеристика вариации рядов x_m в несколько раз выше аналогичного параметра минимальной температуры. Эмпирические кривые обеспеченности обычно соответствуют аналитическим выражениям гамма- и логнормального законов распределения вероятностей. Связи

рядов метеорологической характеристики по территории незначительны или отсутствуют. Эпохи появления серий событий x_m не совпадают с периодами группировок событий t_{min} . Вместе с тем в годы формирования теплых зим наблюдаются высокие максимальные суточные осадки.

Максимальные суточные осадки x_m слабо связаны с месячными значениями. Отсутствуют связи между x_{max} и осадками за теплый и холодный периоды. Если для зимней минимальной температуры коэффициенты корреляции подобных связей значимы, то для максимальных суточных осадков они фактически отсутствуют. Для некоторых пунктов, например, Иркутска и Нижнеудинска за 1902-2005 гг., имеют место тренды событий характеристики с незначительными коэффициентами детерминации 0.11 и 0.16. При этом незначительное увеличение событий на юге сменяется их слабым уменьшением на севере.

Колебания максимального стока. Тенденция изменения многолетней минимальной температуры холодных зим аналогична ходу весенних наводнений, вызванных ледоходами на Лене. Как правило, в эпохи появления событий минимальной температуры, наблюдаются значительные подъемы уровня воды, связанные с забивкой русел льдом. По данным об уровнях воды Лены у Киренска, вызванных заторами, и минимальной температуре в Иркутске определена связь

$$H = -22.1t_{min} - 359, \quad (3)$$

где H – уровень воды, см;

t_{min} – минимальная температура, °С.

Коэффициент детерминации уравнения составляет 0.44.

При использовании полинома второй степени параметр связи увеличивается до 0.51:

$$H = 1.41t_{min}^2 + 95.6t_{min} + 2073. \quad (4)$$

Вероятнее всего квадратичная зависимость более обоснована, поскольку связь между переменными явно выражена в области высоких уровней и соответственно очень низких температур.

Наличие связи между характеристиками H и t_{min} использовано для восстановления событий минимальной температуры воздуха, поскольку ряд лет, в которых наблюдались мощные заторные наводнения на Лене, является наиболее продолжительным, составляя почти 350 лет.

В бассейнах рек Ангары и Лены формируются высокие дождевые паводки и весенние половодья, достигающие в отдельные годы катастрофических размеров. В верхних частях бассейнов максимальные расходы дождевых паводков превосходят аналогичные значения весенних половодий. Линия, разделяющая бассейны рек на две зоны по происхождению максимального стока, не является постоянной, перемещаясь в пространстве в зависимости от изменений климатических условий.

Рассчитано распределение событий максимального стока дождевых паводков и весеннего половодья в интервалах, соответствующих 11-летним циклам солнечной активности по данным средних рек Ангарского бассейна за период 1903-2005 гг. В качестве критерия гидрологического события принята обеспеченность 16% [3].

Согласно систематизированной информации наблюдается тренд уменьшения событий дождевых паводков с коэффициентом детерминации 0.29. Обратная

тенденция характерна для событий весеннего половодья, которая возрастает. Однако уравнение регрессии не значимо.

Ход суммарных летних максимальных расходов воды отличается от многолетних колебаний событий. Тренд суммарного летнего максимального стока хотя и убывает, но является не значимым (коэффициент детерминации равен 0.021). Вместе с тем суммарный максимальный расход воды определен в эпоху экстремального числа событий (1945 - 1954 гг.).

Эпоха появления наибольшего числа событий весеннего половодья явно не совпадает с периодом максимального количества событий дождевых паводков. Как правило, колебания высокого максимального стока дождевых паводков в южной части Восточной Сибири происходит асинхронно с изменениями характеристики на севере.

Начиная с 1934 г. зарегистрировано по одному катастрофическому дождевому паводку на средней реке Ангарского и Ленского бассейнов в каждом 11-летнем цикле солнечной активности. Определенные максимальные расходы являются непревзойденными за период наблюдений. Между наименьшими минимальными температурами в 11-летних циклах солнечной активности и широтами центров выдающихся дождевых паводков S найдена слабая корреляционная зависимость с коэффициентом детерминации 0.15.

Чем холоднее зима, тем вероятнее формирование высоких дождевых паводков на реках южных бассейнов. И, наоборот, теплые зимы могут быть индикаторами проявления выдающегося летнего максимального стока на севере.

Повторяемость событий. Из описаний колебаний экстремальных характеристик климата следует, что многолетнее изменение тепла имеет волнообразный характер. По данным почти 350-летнего периода можно констатировать, что на территории Восточной Сибири формируются группировки холодных зим. По метеорологическому ряду минимальных температур Иркутска за 200-летний период события этой характеристики наблюдались в первые десятилетия начала XIX и XX вв.

На рис. 2 приведены вероятностные кривые непоявления событий минимальной температуры воздуха, максимальных суточных осадков и максимальных расходов дождевых паводков. Для описания отсутствия событий в пределах различных интервалов использованы следующие кривые распределения вероятностей – экспоненциальная, Ахманова С.А. и Раунера Ю.Л.:

$$p = e^{-n}; \quad (5)$$

$$p = \frac{1}{(1 + 0,5n)^2}; \quad (6)$$

$$p = \frac{1}{(1 + n)}, \quad (7)$$

где p – вероятность непоявления события,

n – среднее число событий.

Вероятности отсутствия событий рассчитаны по данным Иркутска за период 1902-2005 гг. Если для минимальной температуры они характеризуют изменение холодных зим фактически всей рассматриваемой территории, то экстремальные характеристики осадков и максимального стока дождевых паводков описывают колебания влаги на юге Иркутской области. В качестве событий приняты значения с обеспеченностью не выше 16%.

Полученные результаты статистической обработки экстремальных характеристик температуры воздуха и влагосодержания показывают, что наибольшее

отклонение эмпирических точек от экспоненциальной кривой распределения вероятностей не появления событий наблюдается для минимальной температуры воздуха. Наиболее близко к экспоненте расположены вероятности не появления событий максимальных суточных осадков. Другими словами, аналитическое выражение (6) соответствует вероятностям не появления событий t_{min} , а формула (5) – значениям p характеристики x_m .

Появления событий минимальной температуры девяти 11-летних циклов солнечной активности условно делимо на три части. Первые 3 цикла (1902-1933 гг.) характеризуются проявлением мощных группировок холодных зим. В следующих трех циклах (1934-1964 гг.) количество событий минимальных температур заметно уменьшается. И, наконец, в период 1965-1996 гг. количество холодных зим достигает наименьшего значения. Последний 11-летний цикл по данным о минимальной температуре является значительно холоднее предыдущего периода. Наименьшее значение t_{min} понизилось на -4.7°C .

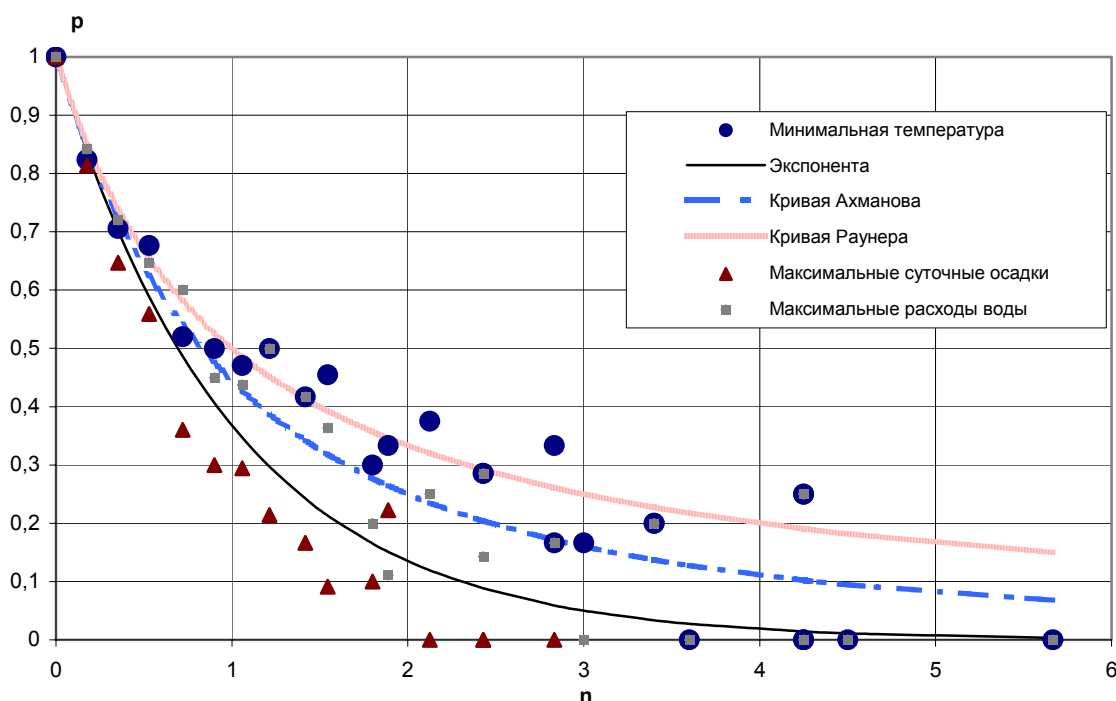


Рисунок 2 - Вероятностные кривые не появления событий минимальной температуры, максимальных суточных осадков и максимальных расходов дождевых паводков по данным Иркутска за 1902-2005 гг.

Обычно серия событий экстремальных характеристик влаги не появляется в эпохи формирования группировок холодных зим. По информации гидрометеорологических пунктов наблюдений серии высоких максимальных расходов и суточных осадков запаздывают относительно холодных зим.

На основе корреляционного анализа определены оптимальные периоды смещения группировок экстремальных характеристик относительно друг друга. Коэффициент детерминации достиг наибольшего значения при смещении высоких максимальных расходов относительно группировок холодных зим на три 11-летних цикла, составив 0.68. На такой же период смещены серии максимальных суточных осадков относительно событий максимальных расходов воды. В этом случае коэффициент детерминации рядов группировок этих характеристик равен 0.52.

Выводы. Основной вывод, который следует из рассмотрения многолетних колебаний экстремальных характеристик холода и влаги заключается в том, что в определенные эпохи формируются мощные серии событий. Вероятнее всего интервал появления события является началом некоторого однородного периода, в пределах которого имеют место определенные закономерности. Этот период длится до начала формирования новой группировки событий, а затем начинается новый период. Для территории Восточной Сибири по данным почти за 350-летний период имеют место вековые периоды похолоданий. Заметим, что в пределах прошлого века в конце 80-х и начале 90-х годов наблюдались группировки теплых зим. При этом зимние минимальные температуры достигали показаний, не имевших аналогов за период наблюдений. Текущий 23-ий цикл солнечной активности характеризуется похолоданием, хотя не отличается мощными группировками событий.

В пределах двух полных последних 11-летних циклов наблюдались резкие колебания высокого стока. На малых реках отсутствовали дождевые паводки, чего не было зарегистрировано на протяжении существования гидрологических постов. В регионе имели место сильные засухи. Как правило, на реках формировались локальные выдающиеся дождевые паводки. И только в 23-м 11-летнем цикле в бассейнах рек Ангары образовался региональный дождевой паводок.

Колебания высокого максимального стока на юге Иркутской области связано с заполнением Братского водохранилища. По полученным результатам исследований похолодание положительно скажется на увеличении притока поверхностных вод, поскольку величины максимального стока возрастут, и увеличится вероятность формирования событий.

Рассмотрение многолетних изменений биологической урожайности зерновых и высокого максимального стока показало, что в период формирования выдающихся дождевых паводков имеет место высокий показатель сельскохозяйственной характеристики.

Список литературы

1. *Водные ресурсы* и водный баланс бассейна реки Ангары/ Степанов Ю.Г., Гета Р.И., Синюкович В.Н., Беляков В.И., Лексакова В.Д. - Новосибирск: Наука, 1983.- 254 с.
2. *Дружинин И.П., Смага В.Р., Шевнин А.Н.* Динамика многолетних колебаний речного стока. - М.: Наука, 1991. - 176 с.
3. *Иваньо Я.М.* Моделирование притока в Братское водохранилище в периоды формирования дождевых паводков //Пути решения водных проблем Прибайкалья и Забайкалья: Тр. ВСО Академии проблем водохозяйственных наук, вып.1. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2002. - С.28-41.
4. *Иваньо Я.М.* Подходы и методы описания экстремальных климатических явлений для решения прогностических задач //Труды Всероссийской конференции «Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии».- Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2003. Ч.1. - С. 45-53.
5. *Иваньо Я.М.* Экстремальные природные явления исторического прошлого на территории Иркутской области. - Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1997. - 96 с.
6. *Иваньо Я.М., Людвиг М.Г.* Обобщение данных о выдающихся летних наводнениях на реках Ангарского бассейна // Водные ресурсы. - 1991. - №2. - С. 17-21.
7. *Изменчивость климата* Европы в историческом прошлом. - М.:Наука,1995.- 224с.

Мінливість екстремальних значень і подій кліматичних характеристик Східного Сибіру.

Іваньо Я.М.

У роботі розглянуті питання мінливості екстремальних характеристик тепла й вологи Східного Сибіру. Проаналізовано інформацію за історичний період. Виявлено закономірності зміни рядів значень і подій кліматичних характеристик. Оцінено повторюваність подій.

Ключові слова: *клімат, мінливість, екстремальна характеристика, подія, закономірність, серія, імовірність відсутності події, цикл сонячної активності.*

Changeability of extreme values and events of climatic characteristics of East Siberia. Ivanyo Y. M.

The questions of changeability of extreme characteristics of heat and moisture in East Siberia are considered in work. Information for history period is analyzed. Conformities to the law of change of rows of values and events of climatic parameters are exposed. Repetitions of events are estimated.

Key words: *climate, changeability, extreme description, event, conformity to the law, series, probability of absence of event, cycle of sun activity.*