

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РИСКИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Предлагается способ оценки температурных рисков с использованием цепей Маркова на примере станций Алтайского края и Республики Алтай. Приведены результаты использования разработанного авторами алгоритма для расчета рисков, обусловленных следующими опасными явлениями: периодами низких / высоких температур, аномально холодной / аномально жаркой погодой, сильным морозом / сильной жарой. Показано высокое соответствие модели фактическим данным, что говорит о перспективности ее использования в вероятностном прогнозировании.

Ключевые слова: Алтайский регион; гидрометеорологические риски; аномальная температура воздуха; простая цепь Маркова.

Экологическая безопасность человечества выводит проблему исследования рисков в разряд наиболее актуальных. Население планеты уязвимо перед природными аномалиями, которые становятся все более ощутимыми по масштабам проявления и последствиям. К катастрофическим относятся не только внезапные эндогенные и экзогенные процессы на Земле, но и направленные многолетние изменения климатических характеристик, которые приводят к пересмотру способов управления различными отраслями хозяйства для минимизации убытков и максимального увеличения прибылей. Усовершенствование управления климатической информацией крайне актуально и является основой социально ориентированных систем предупреждения [1]. Для России особо важны диагноз и прогноз климатических изменений, детализированные регионально, что связано с неравномерностью их проявления на территории страны из-за широкого спектра пространственных природно-обусловленных различий. В среднем по стране ущерб от гидрометеорологических явлений оценивается в 80% от ущерба, наносимого экономике всеми природными катастрофами [2]. Проблеме изменений климата и адаптации к этим изменениям посвящено огромное количество работ, большая часть информации резюмируется в отчетах Межгосударственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [3], организованной Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП).

Под *гидрометеорологическими рисками* понимают статистические вероятности наступления тех или иных аномальных или опасных явлений погоды [4]. Рассчитанные вероятности опасных состояний определяют выбор стратегии различных экономических и социальных решений. Критерии опасных явлений приводятся в руководящих документах Росгидромета [5, 6], согласно которым гидрометеорологические явления относятся к опасным при достижении и превышении ими определенных пороговых значений либо качественных характеристик, установленных для того или иного региона. Для данного исследования выбран район, включающий Алтайский край и Республику Алтай (далее Алтайский регион). Расположение в центре Евразийского континента, наряду с разнообразием ландшафтной структуры территории, обуславливает высокую континентальность климата и приводит к таким опасным явлениям, как аномально холодные и аномально жаркие периоды, периоды низких ($< -30^{\circ}\text{C}$) и высоких ($> +30^{\circ}\text{C}$) температур, сильный мороз и сильная жара, обильные

осадки (с интенсивностью более 30 мм за сутки), затяжные дожди, сильные снегопады, бесснежные периоды в начале холодной части года, засухи (отсутствие в вегетационный период года эффективных осадков за период не менее 30 сут подряд при температуре воздуха выше 25°C), продолжительные периоды с высокими скоростями ветра. Все эти явления создают серьезные риски для проживания людей и их хозяйственной деятельности, сказываются на состоянии здоровья населения, на качестве воды и продуктов питания, приводят к огромным потерям в большинстве отраслей экономики. Кроме того, погода и климат являются одними из основных требующих оценки геоэкологических факторов, лимитирующих рекреационное использование территории, которое является весомым экономическим ресурсом для исследуемого региона.

Целью данной работы является оценка вероятности возникновения температурных рисков в данном районе. Материалами для исследования послужили данные суточного и месячного разрешения на 34 станциях Алтай за период с 1961 по 2010 г.

Риски, или вероятности, погодных аномалий рассчитывают при помощи различных методов, основанных на математической статистике и теории вероятностей [7]. В данной работе предлагается оценивать устойчивость климатических характеристик и структуру однотипных периодов в условиях меняющегося климата с помощью методики, основанной на применении цепей Маркова [8, 9]. При этом открываются возможности теоретического расчета продолжительности периодов с экстремальными погодными условиями, прогноза этой продолжительности, а также вероятностного прогноза возникновения подобной ситуации. Полное описание простой цепи Маркова достигается заданием вероятности начального состояния системы и вероятностей перехода. Таким образом, простая цепь Маркова позволяет определить вероятность пребывания системы в любом из ее состояний. Подробно алгоритм данной методики применительно к рядам осадков описан в [10]. В настоящей работе рассмотрены цепи Маркова с двумя состояниями, соответствующими требованиями для исследования характеристикам.

Для оптимизации представления материала и нахождения однородных климатических изменений в Алтае была проведена пространственная классификация поля температуры. Цель классификации заключается в выявлении по эмпирическим данным районов с близким временным ходом величины [11]. В данной работе процедура классификации проводилась в соответствии с алгоритмом, разработанным и подробно описанным

авторами [12], позволяющим выделять среди всех объектов группы, в которых элементы связаны друг с другом сильнее, чем со всеми остальными. Этот метод позволяет выделять таксоны сложной формы, включающие станции, расположенные в разных районах, но объединяемые в единый класс в силу высокой степени их связности. Основное отличие примененного метода заключается в том, что финальная классификация состоит из классов, полученных на предыдущих этапах классификации. То есть при уменьшении порогового расстояния классы, существующие при более высоком пороге, могут разрушаться, но не исключаются из финальной классификации. Предложенный способ клас-

сификации позволяет выявить нерепрезентативные станции, не относящиеся ни к одному классу.

Классификация поля средней месячной температуры позволила выделить 4 класса, что говорит о его неоднородности. Характеристики классов исходного поля температуры и распределение их в пространстве приведены в табл. 1 и на рис. 1.

В табл. 1 приведены характеристики каждого отдельного класса и его отличие от других. Следует отметить, что внутриклассовые расстояния в 2–5 раз меньше, чем межклассовые, что свидетельствует об изолированности классов и о хорошем качестве классификации.

Таблица 1

Характеристика классификации поля температуры на территории Алтайского региона

Класс	Число станций	Средняя температура, °С	Дисперсия, °С ²	Средний коэффициент корреляции	Внутриклассовое расстояние, °С	Межклассовое расстояние, °С		
1	21	2,5	171,5	0,99	0,17	0,32	0,25	0,77
2	3	4,0	105,5	0,99	0,20	–	0,43	0,88
3	4	0,0	163,5	0,99	0,20	–	–	0,52
4	5	–4,1	152,5	0,97	0,36	–	–	–

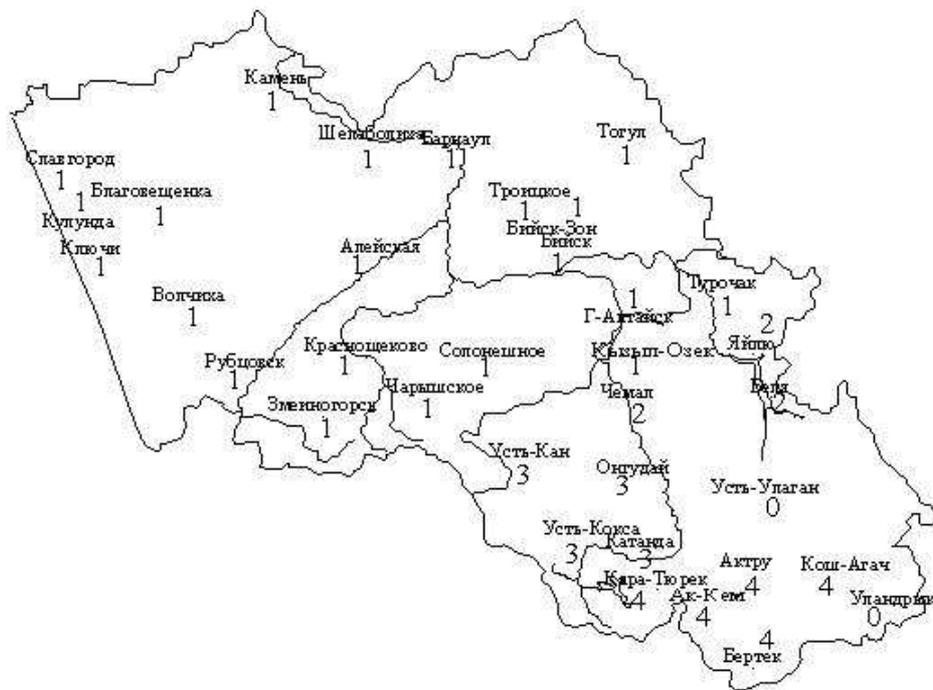


Рис. 1. Распределение классов приземной температуры воздуха по территории Алтайского региона

Исследование показало, что классы имеют выраженную географическую локализацию (рис. 1), отражающую общность формирующих их факторов. Первый класс станций пространственно занимает всю равнинную часть рассмотренной территории. Климат этой части Алтайского региона обусловлен свойствами приходящих с западным переносом масс воздуха. Второй класс включает в себя станцию Чемал и две станции вблизи Телецкого озера (Яйлю и Бея), расположенные в меридионально ориентированной котловине, трансформирующей движение приходящих воздушных масс в направлении юг – север. На температуру на этих

трех станциях оказывают влияние фены [13] и наличие крупного водоема.

Термические особенности третьего и четвертого классов, расположенных в среднегорье и высокогорье Алтая, обусловлены рельефом местности. Станции Усть-Улаган и Уландрык не вошли ни в один из классов, что можно объяснить индивидуальными особенностями их расположения в долинах высокогорных рек.

Для оценки температурных рисков были использованы станции Барнаул, Алейская, Чемал, Усть-Кокса и Кош-Агач, характеризующие выделенные классы.

В данной работе проведена оценка температурных рисков по трем выбранным характеристикам. По суточным данным температуры рассчитывались продолжительность и число периодов *аномально холодной погоды*, когда средняя суточная температура воздуха значительно (на 7°C и более) ниже климатической нормы в течение 5 сут и более в период с октября по март; *аномально жаркой погоды*, когда средняя суточная температура воздуха значительно (на 7°C и более) выше климатической нормы в течение 5 сут и более в период с апреля по сентябрь [5]; *периодов низких (< -30°C) и высоких (> +30°C) температур* любой продолжительности в соответствующие полугодия [2]; периодов с *сильным морозом и сильной жарой*, когда значение минимальной (максимальной) температуры воздуха составляет -40°C (+35 °C) или ниже (выше) в течение трех суток и более с ноября по март (с мая по август) [6]. Все эти характеристики при прогнозах доводятся до потребителей по схеме распространения экстренной информации [5].

Для расчета температурных рисков с применением цепей Маркова были получены последовательности из «1» и «0». Так, например, день, когда среднесуточная температура отличалась от нормы для данного месяца на 7°C и более, принимался за «1», остальные случаи обозначались «0». Аналогично к бинарному состоянию приводились периоды низких и высоких температур, периоды с сильным морозом и сильной жарой. За норму принимали значения многолетней средней температуры соответствующего месяца за 1971–2000 гг. Этот период рекомендован Всемирной метеорологической организацией для расчета климатической нормы [3]. Расчеты проводились для периода с 1999 по 2010 г., соответствующего последней климатической эпохе, продолжительность которой определяется границами современной циркуляционной эпохи с преобладанием западной формы циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма, выделенной на основе анализа

структурных особенностей многолетних рядов индексов циркуляции [14].

Проведенное исследование показало, что число периодов с аномально холодной погодой на станциях Алтайского региона значительно больше, чем аномально жарких периодов (табл. 2). Это объясняется тем, что межсуточная амплитуда температуры воздуха в летние месяцы гораздо меньше, чем в холодное полугодие. Летом степные, полупустынные и пустынные ландшафты юга Западной Сибири сильно прогреваются, и над ними формируется однородная воздушная масса с высокой температурой, которая представляет собой в барическом поле термическую депрессию, малоподвижную и бесфронтальную, в значительной мере определяющую формирование летних типов погод (ясных или малооблачных без осадков).

В холодное полугодие над этой территорией погоду определяет Азиатский антициклон, формирующий частые периоды ясной холодной погоды. Процессы меридионального типа наименее часты в холодное полугодие и кратковременны, но их воздействие на термический режим существенно. При таких типах циркуляции происходит вынос тепла по западной периферии Азиатского антициклона, приводящий к значительному повышению температуры на предгорных равнинах. Для Южного и Горного Алтая характерны фены, которые способствуют возникновению больших неоднородностей в распределении тепла над этими территориями. Максимальная повторяемость фенов отмечается на станциях класса 2 (Чемал, Яйлю, Беля) [13]. Влияние фенового эффекта на термический режим особенно сильно проявляется зимой, приводя к оттепелям. Их последствия неблагоприятны для растительности и животных, так как следующие за ними резкие понижения температуры способствуют образованию ледяной корки или наста на поверхности снега, уменьшая поступление воздуха к растениям, приводящее к их вымерзанию, и затрудняя доступ к корму животным [13. С. 5, 83].

Таблица 2

Число периодов с аномальной погодой (*n*) и вероятность их наступления (*P*, %) на станциях различных классов

Барнаул		Алейская		Кош-Агач		Усть-Кокса		Чемал	
<i>n</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	<i>P</i>
Аномально холодная погода									
21	7,1	21	7,1	19	6,1	14	4	19	6,2
Аномально жаркая погода									
7	1,9	5	1,5	7	1,7	2	0,6	4	1,2

Наибольшая вероятность возникновения аномально холодных погод отмечается на станциях Барнаул и Алейская (класс станций № 1) (табл. 2). Максимальная вероятность превышения нормы температуры воздуха на 7°C и более (аномально жаркая погода) отмечается в Барнауле и Кош-Агаче.

Далее были получены характеристики аномальной погоды на станциях Алтая для каждого месяца. Оценка показала, что число периодов с аномально холодной погодой максимально на станциях четвертого класса в феврале, на остальных станциях – в январе. Периоды более 5 дней со средней суточной температурой, значительно превышающей средние многолетние значе-

ния (аномально жаркие), характерны для месяцев переходных сезонов, в июле и августе они не наблюдались ни на одной станции рассматриваемого региона.

На рис. 2 показана вероятность возникновения аномальной погоды в течение года на станции Алейская, из которого следует, что максимальная вероятность аномально холодных погод отмечается в январе и декабре.

Вероятность возникновения аномально жарких погод в теплом полугодии в целом ниже, чем вероятность аномально холодной погоды в период с октября по март. Реже всего аномально жаркая погода наблюдается в июне–августе.

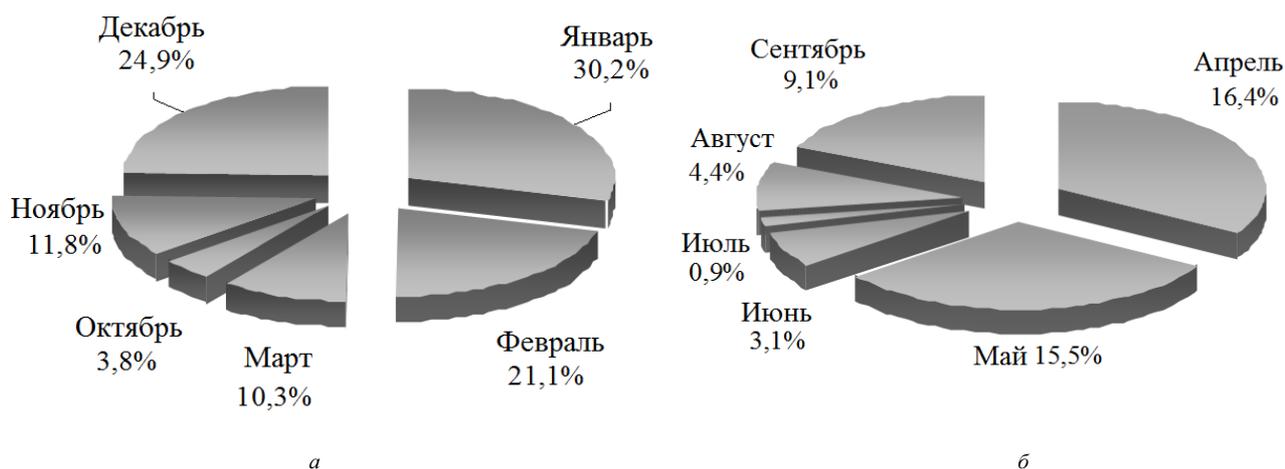


Рис. 2. Вероятность возникновения anomalно холодной погоды (а) и anomalно жаркой погоды (б) на станции Алейская по месяцам

Определенные вероятности смены дней с anomalно холодной погодой на «другие» дни и обратно позволяют, применяя алгоритм цепей Маркова, получать прогно- стические характеристики продолжительности перио- дов с anomalно холодной (жаркой) погодой, возмож- ных в заданный интервал времени (были рассмотре- ны

интервалы 20, 30 и 50 лет). В табл. 3 приведены рас- считанные значения продолжительности периодов с anomalно холодной/жаркой погодой на примере стан- ции Алейская. Так, например, в марте 1 раз в 30 лет anomalно жаркая погода может отмечаться в течение 15 дней подряд (табл. 3).

Таблица 3
Продолжительность периодов anomalно холодной погоды (дни) на станции Алейская, возможная 1 раз в *k* лет

Месяц	<i>k</i> , годы			Месяц	<i>k</i> , годы		
	20	30	50		20	30	50
Anomalно холодная погода				Anomalно жаркая погода			
Октябрь	17	18	19	Апрель	12	13	14
Ноябрь	19	20	22	Май	10	10	11
Декабрь	13	14	15	Июнь	5	5	5
Январь	7	8	8	Июль	6	6	7
Февраль	13	14	15	Август	7	7	8
Март	14	15	16	Сентябрь	8	8	9

Аналогично оценивались риски возникновения пе- риодов низких (< -30°C) и высоких (> +30°C) темпе- ратур. Повторяемость периодов низких температур изме- няется по территории в широких пределах: от 0,4% на станциях второго класса (Чемал) до 11,4% на станциях четвертого класса (Кош-Агач), где их длительность может достигать 20 дней (табл. 4). На остальных стан- циях вероятность периодов с температурой ниже -30°C составляет порядка 2–3%.

Периоды высоких температур не характерны для территории Алтая, на большинстве станций за рас- смотренный период времени они не наблюдались со- всем. Повторяемость таких периодов отлична от нуля только на нескольких станциях, например на Алейской и в Чемале. Однако такие периоды возможны на всех станциях за более длительные промежутки времени (табл. 4).

Повторяемость периодов сильного мороза в сред- нем по территории составляет порядка 4%. За рассмот-

ренный временной промежуток максимальная непре- рывная продолжительность таких периодов на разных станциях существенно не отличалась и составляла око- ло 8–10 дней.

Максимальная продолжительность периодов силь- ной жары существенно варьирует в зависимости от станции даже внутри одного класса. Повторяемость таких периодов в Алтае достаточно высока и составляет около 6–7%. Оценка длительности периодов такой по- гоody, возможных один раз в различные интервалы лет, показана в табл. 4.

Адекватность предложенной модели оценивалась двумя способами. Во-первых, выявлена высокая связь между расчетной и фактической вероятностями насту- пления периодов с заданными характеристиками, опи- сываемая линейным уравнением. Так, например, при оценке периодов с anomalно холодной погодой на станции Алейская коэффициент корреляции расчетной и факти- ческой вероятностей составил 0,98 (рис. 3).

Продолжительность периодов (дни) низких (< -30°C) и высоких (> +30°C) температур, периодов с сильным морозом и сильной жарой на станциях Алтая, возможная 1 раз в *k* лет

Станция	<i>k</i> , годы					
	20	30	50	20	30	50
	≤ -30°C			Сильный мороз		
Барнаул	9	9	10	6	7	8
Алейская	11	12	13	6	7	8
Кош-Агач	18	19	20	11	12	13
Усть-Кокса	12	13	14	*	*	*
Чемал	5	5	6	5	5	6
	≥ 30°C			Сильная жара		
Барнаул	1	1	1	3	3	3
Алейская	1	1	1	5	5	6
Кош-Агач	1	1	1	*	*	*
Усть-Кокса	1	1	1	*	*	*
Чемал	1	1	1	5	5	6

* Периоды с температурой воздуха ниже (выше) -40°C (+35°C), но продолжительностью менее 3 сут, что не позволяет их относить к сильному морозу (сильной жаре).

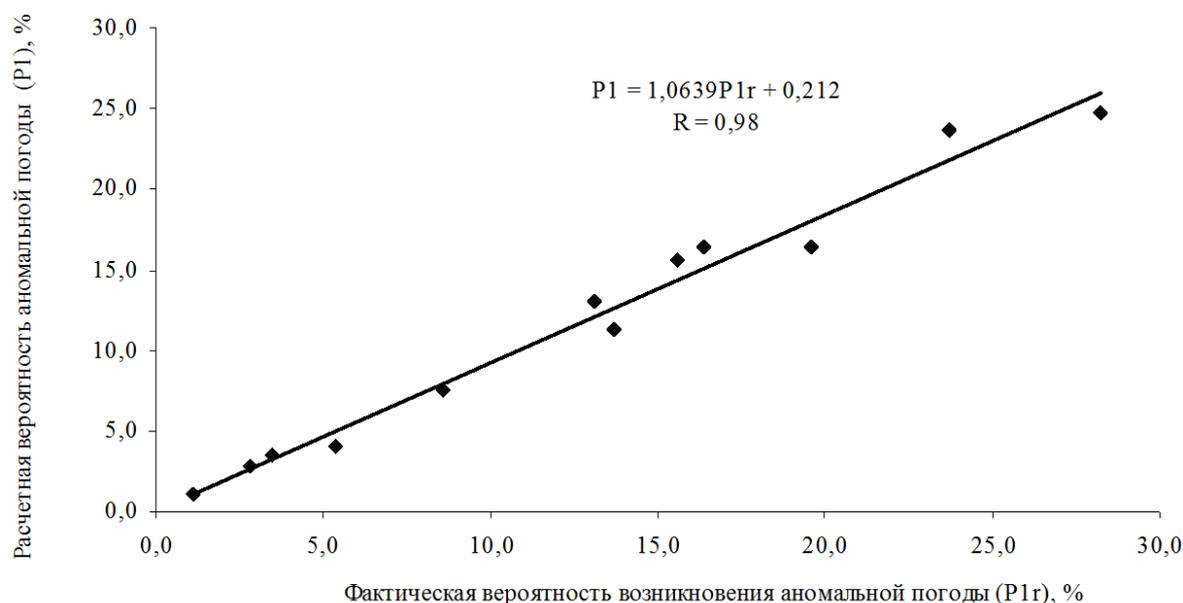


Рис. 3. Зависимость расчетной и фактической вероятностей наступления периодов аномальной погоды на станции Алейская

Соответствие расчетного распределения фактическому оценивалось по критерию согласия Пирсона. Во всех случаях условие выполнялось, т.е. гипотезу о соответствии модели фактическим данным можно считать достоверной.

Таким образом, для снижения экономических потерь от температурных рисков и их последствий необходимо проведение исследований, результаты которых должны быть использованы при разработке региональных программ социально-экономического

развития территорий [15], в частности для Алтайского региона.

Для принятия потребителем оптимального экономического решения в настоящее время наилучшей формой прогноза является вероятностная [16]. Применение методики цепей Маркова позволяет достоверно оценить статистические вероятности опасных явлений (гидрометеорологические риски), которые необходимы для получения характеристик экономических рисков для различных отраслей экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гюингла Р.М., Маскаренхас А. Управление в условиях климатических рисков на западе Южной Америки: осуществление успешной информационной системы // Бюллетень ВМО. Женева : Секретариат ВМО, 2009. Т. 58, № 3. С. 188–196.
2. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации / под ред. К.Ш. Хайруллина. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : Гидрометеоиздат, 1997. 587 с.

3. МГЭИК, 2007: Изменение климата 2007. Обобщающий доклад / под ред. Р.К. Пачаури [и др.]. Женева, 2008. 104 с.
4. Карлин Л.Н. и др. Гидрометеорологические риски / под ред. проф. Л.Н. Карлина. СПб. : Изд-во РГГМУ, 2008. 282 с.
5. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2009. 62 с.
6. Перечень и критерии опасных гидрометеорологических явлений для территории обслуживания Западно-Сибирского УГМС. URL: <http://www.meteo-nsa.ru/img/files/perechen.pdf> (дата обращения: 21.07.2011 г.).
7. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л. : Гидрометеониздат, 1978. 294 с.
8. Груза Г.В. и др. Статистические методы прогноза погоды. Обнинск : Изд-во Информационного центра, 1975. 102 с.
9. Горбачев Н.А., Груза Г.В., Редюхин В.Т. Моделирование условных вероятностей с использованием цепей Маркова // Методы предвычисления вероятностей условий погоды. Обнинск, 1977. С. 11–14.
10. Волкова М.А., Кусков А.И., Чередыко Н.Н. Пространственно-временная структура атмосферных осадков в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Сер. «Науки о земле». 2009. № 328. С. 214–219.
11. Катаев С.Г., Кусков А.И. Проблемы исследования геофизических полей // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2006. Вып. 2 (18). С. 21–27.
12. Кусков А.И., Катаев С.Г. Структура и динамика приземного температурного поля над Азиатской территорией России. Томск : Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2006. 176 с.
13. Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В. Фены Горного Алтая. Томск : Изд-во ТПУ, 2000. 139 с.
14. Чередыко Н.Н. Перестройка крупномасштабных атмосферных процессов как критерий выделения периодов с однотипной тенденцией изменения температуры // Материалы XVII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» : сб. тр. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2011. Диск CD-ROM. С. D59–D62.
15. Комплексные климатические стратегии для устойчивого развития регионов Российской Арктики в условиях изменения климата (модельный пример Мурманской области) : резюме. М. : Программа развития ООН в России, Российский региональный экологический центр, 2009.
16. Рекомендации по предоставлению данных о неопределенности прогнозов / PWS-18 WMO/TD No1422P / под ред. Х. Кутвала ; Всемирная метеорологическая организация. 2008. URL: <http://meteoinfo.ru/wmo-td-1422> (дата обращения: 22.09.2011 г.).

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 2 декабря 2011 г.