

ANNUAL RANGE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION FORECAST FOR ALTAI-SAYAN MOUNTAIN COUNTRY

Yu.B. Kirsta¹, O.V. Lovtskaya¹

¹ Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul

Citation: Kirsta Yu.B., Lovtskaya O.V. Annual range of temperature and precipitation forecast for Altai-Sayan mountain country // Environmental dynamics and global climate change. V.11. N.1. P. 16-23

DOI: 10.17816/edgccc34020

Text of the article in English <https://edgcccjournal.org/EDGCC/article/view/34020> [4]

Analysis and long-term forecasting of climatic characteristics of the mountains is laborious and extremely difficult due to complex vertical and horizontal differentiation of climatic fields and insufficient number of weather stations in the region. We have developed a method for statistical forecast of average monthly temperature in the surface air layer and monthly precipitation for the mountain areas with an annual lead time.

The method based on the description of monthly dynamics of the mentioned factors expressed in percent of their average annual monthly values measured in situ. Such dynamics remains the same throughout the study territory, regardless of its height and exposure. To convert the relative values of temperature and precipitation into their conventional units of measurements (°C and mm) one needs just mean annual January and July values of air temperature and precipitation for the territory under study. By the example of the Altai-Sayan mountain country, it is shown that the use of observation data for 6–7 years obtained from several reference weather stations ensure reliable prediction. The forecast is equally true for any part of the mountain country due to spatial generalization of relative changes in these factors. The universal criterion A for assessing the quality of various predictive methods (including those, which do not use the model quality indices RSR and Nash–Sutcliffe) is proposed.

The criterion is the error of predictive method S_{diff} normalized by standard deviation S_{obs} of observations from their average and $S_{diff}/\sqrt{2} S_{obs}$. It is associated with NSE and RSR indices through dependencies $RSR = \sqrt{2} A$ and $NSE = 1 - RSR^2 = 1 - 2A^2$. The proposed criterion was used in assessing the quality of temperature and precipitation forecasts; it was close to the theoretically best one for statistical prognoses.

Key words: surface air temperature, precipitation, forecast, mountain areas, Altai, Sayan

Разработана методика статистического прогноза среднемесячных температур приземного слоя воздуха и месячных сумм осадков на год вперед для горных территорий. Методика основана на адекватном описании помесечной динамики этих факторов в процентах от их среднемноголетних месячных значений in situ. Такая динамика одинакова для всех участков территории, независимо от их высоты и экспозиции. На примере Алтае-Саянской горной страны показано, что для прогноза достаточно данных наблюдений нескольких реперных метеостанций за шесть-семь лет. Предложен универсальный критерий для определения качества различных прогнозных методов, включая те, для которых известные показатели RSR и Нэша–Сатклифа не применяются. С его помощью оценено качество выполненных прогнозов температур и осадков, которое оказалось близким к теоретически наилучшему.

Ключевые слова: температуры воздуха, осадки, прогноз, горные территории, Алтай, Саяны.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время предложено большое число эмпирико-статистических и детерминистских методов долгосрочных метеорологических прогнозов, а также их различных комбинаций (см., например, Siegert et al., 2017; Parton, K.A., Crean, J., 2016). Первые основаны на статистических закономерностях атмосферных процессов и требуют максимально возможной длины и однородности исследуемых рядов метеорологических данных. Вторые опираются на физические

закономерности атмосферных или атмосферно-океанических процессов, которые описываются достаточно сложными уравнениями, как например, в мезомасштабной модели WRF [Skamarock et al., 2008; Игнатов с соавт., 2019]. В данной работе решается задача разработки методики метеорологического прогноза среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков на год вперед для Алтае-Саянской горной страны по минимальному объему данных, недостаточному для указанных методов.

Алтае-Саянская горная страна (50–54° с. ш. и 78–90° в. д.) является частью мирового водораздела между гумидной областью Северного Ледовитого океана и аридной бессточной областью Центральной Азии. Она является горным водосборным районом для таких крупных рек Сибири как Обь и Иртыш, формирующих здесь сложную гидрографическую сеть. Выбранная территория включает Горный Алтай и частично Салаирский кряж с Кузнецким Алатау, а также прилегающие равнины. Преобладающие высоты хребтов горных систем составляют 2000–2500 м, достигая на Алтае 3500–4500 м. Особенностью Алтае-Саянской горной страны является разнообразие ее ландшафтов (гляциально-нивалных, тундровых, альпийских и субальпийских лугов, лесных, степных и полупустынных), характеризующихся совершенно различными климатическими условиями [Физико-географическое..., 1968].

Горы отличаются сложной вертикальной и горизонтальной дифференциацией климатических полей. Анализ этих полей трудоемок и часто невозможен из-за отсутствия достаточного количества метеостанций. Нами разработан и статистически обоснован метод пространственного обобщения среднемесячных температур приземного слоя воздуха и месячных осадков, который учитывает такую дифференциацию опосредованно [Кирста, 2011]. Этот метод обеспечивает адекватную оценку непосредственно временной динамики климатических факторов, причем эта оценка может быть сделана для произвольно выбранных участков территории, в том числе тех, где метеорологические наблюдения вообще не проводились. На его основе предлагается статистический метод долгосрочного прогноза температур воздуха и осадков, который будет применяться для прогнозных расчетов гидрологического характера (например, весенне-летнего половодья рек) в условиях гор при недостаточном метеорологическом обеспечении.

Исходные данные и методика исследования

Нами использовались данные о среднемесячных температурах приземного слоя воздуха и месячных осадков (далее температуры и осадки) от 11 реперных метеостанций, наблюдения на которых начались не позже 1951 г. и продолжаются по настоящее время (рис. 1, табл. 1) [Булыгина с соавт.; Погода и климат...; Расписание погоды...]. При этом предполагалось подчинение метеорологических факторов одним и тем же мезо- и макромасштабным атмосферным процессам (атмосферных циркуляций, теплооборота, влагооборота) [Кирста, 2011; Модина и Сухова, 2007]. Среднемесячные значения температур и осадков в целом по горной стране приведены в таблице 2. Более детальные статистические характеристики этих факторов можно найти в [Изменение климата..., 2011].

Исходные месячные значения температур и осадков за отдельные годы пересчитывались в проценты относительно их среднемесячной величины за 1951–2016 гг. *in situ* (см. ниже). Зимой в горах происходит радиационное выхолаживание воздуха, который стекает по склонам вниз на дно котловин. Это приводит к температурным инверсиям, вертикальные градиенты которых достигают летних значений 0.5°C/100 м [Сапожникова, 1965]. Несмотря на такие изменения температур с высотой их относительные значения остаются одинаковыми по всей территории страны [Кирста, 2011]. В теплом периоде года при летнем типе циркуляционного механизма атмосферы температурные инверсии отсутствуют, и со сменой высоты относительные значения температур также остаются стабильными. Таким образом, мы получаем единообразную помесечную и межгодовую динамику метеорологических факторов одновременно для всей территории горной страны.

Статистические оценки показали, что для холодного периода года наименьшее различие относительных среднемесячных температур между 11 реперными метеостанциями имеет место при их выражении в процентах относительно среднемесячных температур за январь *in situ*, а для теплого – за июль *in situ* [Кирста, 2011]. У относительных значений осадков для всех месяцев года это оказался июль. Усреднение полученных относительных температур и осадков по 11 метеостанциям для каждого месяца и года дало их единую пространственно усредненную помесечную динамику, которая адекватно отражала реальную метеорологическую обстановку на любом участке горной страны. Адекватность, в том числе, подтверждалась поочередным выбором одной из 11 метеостанций, данные по которой сравнивались со средними по остальным станциям. Обратный переход от относительных к общепринятым единицам измерений факторов (°C и мм) можно выполнить через умножение на среднемесячные январские и июльские значения температур воздуха и осадков для характеризуемого участка. Очевидно, что разработанная для горных территорий оценка динамики метеорологических факторов может успешно применяться как для геоинформационного анализа климатических полей, так и в реанализе.

Нами выполнялся прогноз относительных значений среднемесячных температур воздуха и месячных осадков для 1984–2016 гг. с годовой заблаговременностью по их скользящим средним значениям за предшествующие годы. В качестве последних последовательно использовались 1, 2, 3, ..., 33-летние скользящие периоды. Прогноз предназначен для использования в гидрологических моделях [Кирста с соавт., 2012], точность которых принято оценивать через коэффициент Нэша-Сатклиффа NSE [Koch and Cherie, 2013]. Поэтому для характеристики качества прогноза целесообразно использовать аналогичный NSE показатель. Оценка точности получаемых прогнозов осуществлялась нами по критерию [Кирста, 2011]:

$$A = S_{\text{разн}} / \sqrt{2} S_{\text{набл}}, \quad (1)$$

где A – критерий адекватности математических моделей и прогнозов; $S_{\text{разн}}$ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение невязки (разности соответствующих значений прогнозируемого и наблюдаемого рядов данных), $S_{\text{набл}}$ – стандартное отклонение для наблюдаемого ряда, $1/\sqrt{2}$ – множитель.

Отметим, что используемые для прогноза статистически средние величины метеорологической характеристики за предшествующие 1, 2, 3, ..., и 33-летние скользящие периоды практически не коррелируют с колебаниями ее фактических значений в прогнозируемый год. Поэтому по правилу сложения дисперсий случайных величин дисперсия $(S_{\text{разн}})^2$ будет включать только два слагаемых [Вентцель Е.С., 1999]:

$$(S_{\text{разн}})^2 \approx (S_{\text{прог}})^2 + (S_{\text{набл}})^2, \quad (2)$$

где $S_{\text{прог}}$ – стандартное отклонение для прогнозного ряда 1984–2016 гг.

Согласно (1) значения критерия A могут меняться от нуля до единицы и выше:

– близкие к 0 – это идентичность рядов и «абсолютная» точность детерминистического прогноза;

– $1/\sqrt{2} = 0.71$ – пороговое значение, при котором используемое для прогноза статистически среднее значение характеристики совпадает с фактической среднемноголетней для прогнозируемых лет, то есть выполняется *наилучший прогноз по среднемноголетней величине*;

– близкие к 1 – мы имеем одинаковые дисперсии рядов при их нулевой ковариации, то есть прогнозный метод эквивалентен случайным вариациям метеорологической характеристики около ее средней величины с дисперсией, отвечающей наблюдаемому ряду; метод случайных вариаций нередко применяется в математических моделях для создания «естественного» разброса значений входных метеорологических факторов;

– больше 1 – дисперсия расчетного ряда больше чем у наблюдаемого при их нулевой ковариации, то есть использовать такой прогнозный метод нецелесообразно.

Из выражения (1) видно, что критерий A подобен нормированной ошибке прогнозного метода. При этом для нормировки используется не среднее значение метеорологической характеристики, а стандартное отклонение данных наблюдений ($S_{\text{набл}}$) от этого среднего. Интервал $A=0.71 \div 1$ характеризует различную степень адекватности прогнозируемых по статистически средней величине и наблюдаемых значений характеристики с наилучшим прогнозом при $A \sim 0.71$.

Критерий (1) аналогичен известным показателям качества моделей RSR (RMSE-observation Standard deviation Ratio, где RMSE – Root Mean Square Error [Moriassi et al., 2007; Koch and Cherie, 2013]) и NSE (Nash-Sutcliffe model Efficiency coefficient – коэффициент Нэша-Сатклиффа [Koch and Cherie, 2013]), с которыми связан зависимостями $RSR = A\sqrt{2}$ и $NSE = 1 - RSR^2 = 1 - 2A^2$. Здесь мы опять учитываем, что для достаточно адекватных математических моделей и прогнозов среднее значение невязки между прогнозируемыми и наблюдаемыми данными можно считать равным нулю из-за его малости по сравнению с $S_{\text{разн}}$ в (1). По сравнению с RSR и NSE, диапазон применения критерия A более широк и дополнительно включает оценку адекватности прогноза по статистически средней величине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа результатов расчетов мы выделим четыре периода/сезона, отражающих особенности метеорологической и гидрологической обстановки на территории Алтае-Саянской горной страны: первый (зимняя межень, XII–III месяцы), второй (весенне-летнее половодье, IV–VI), третий (летняя межень, VII–VIII), четвертый (осенняя межень с возможными паводками при сильных дождях, IX–XI) [Кирста с соавт., 2012]. При этом критерий (1) будет рассчитываться для отдельных месяцев года, а затем усредняться по сезонам. Это значительно повышает требования к оценке адекватности предложенного метода прогноза по сравнению с прогностической оценкой среднесезонных или среднегодовых величин [Гельфан, 2017]. На рисунках 2 и 3 приведены значения критерия A для среднемесячных температур и месячных осадков по каждому сезону в зависимости от длины предшествующих прогнозному году скользящих периодов, по которым рассчитывается прогнозное среднее значение у этих характеристик.

Из рисунков 2 и 3 видно, что характеризующий качество прогноза критерий A и для температур, и для осадков быстро улучшается с увеличением скользящего периода усреднения. Уже при 6–7-летней длине последнего критерий A приближается к наилучшему значению 0.71. Отметим, что это независимым образом подтверждает адекватность выполняемого пространственного усреднения метеорологических факторов, так как в противном случае такое приближение отсутствовало бы. С дальнейшим увеличением периода усреднения значения A стабилизируются, составляя у температур 0.74, 0.73, 0.78, 0.73, а у осадков – 0.73, 0.73, 0.72, 0.73 для 1, 2, 3, 4 сезонов соответственно. Таким образом, для адекватного прогноза относительных температур и осадков с годовой заблаговременностью достаточно 6–7 предшествующих лет наблюдений без привлечения 30-летнего или даже 50–80-летнего периодов, рекомендуемых для определения средних метеорологических величин и многолетних («нескользящих») прогнозов [WMO: Calculation..., 1989, Бабина и Георгиади, 2016; Груза и Ранькова, 2004; Дроздов с соавт., 1965; Кожахметова с соавт., 2010; Рубинштейн, 1979].

Рассчитаем рассмотренные выше показатели качества моделей RSR и NSE. Используя среднюю величину критерия $A = 0.74$, получаем $RSR = A\sqrt{2} = 0.74\sqrt{2} = 1.0$ и $NSE = 1 - 2A^2 = 1 - 2(0.74)^2 = -0.1$. Оба показателя попадают в диапазон неудовлетворительных значений $RSR > 0.70$ и $NSE < 0.50$ [Koch and Cherie, 2013], то есть не пригодны для оценки качества климатических прогнозов по статистически среднему значению.

ВЫВОДЫ

1. Рассчитываемые по предложенному методу относительные изменения среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков имеют единообразную помесечную и межгодовую динамику по территории Алтае-Саянской горной страны и прилегающих к ней равнин. Для перехода к общепринятым единицам измерения температур и осадков (°C, мм) на выбранном участке необходимо знать их среднемноголетние месячные значения *in situ* за январь и июль.

2. Для прогноза среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков с годовой заблаговременностью достаточно иметь их статистические средние за 6–7 предшествующих лет. Прогноз выполняется одновременно для любого участка горной страны за счет пространственного обобщения относительных изменений этих факторов по нескольким репер-

ным метеостанциям. Эти свойства существенно отличают его от традиционного прогноза по многолетним трендам климатических факторов.

3. Предложен универсальный критерий, позволяющий оценить качество различных прогнозных методов и моделей, в том числе тех, для которых известные показатели RSR и Нэша-Сатклиффа не применимы. Качество выполненных прогнозов температур и осадков близко к теоретически наилучшему.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН, при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-220019 p_a).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабина Е.Д., Георгиади А.Г. 2016. Оценка качества воспроизведения температуры воздуха и сумм атмосферных осадков в бассейне р. Лена глобальными климатическими моделями. // Вестн. Моск. ун-та. сер. 5. География. № 5. С. 69–76. [Babina E.D., Georgiadi A.G. 2016. Evaluation of the simulation of air temperature and atmospheric precipitation in the Lena River basin by global climate models // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia. V. 5. P. 69–76. (In Russian)].
2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных>. [Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. Opisanie massiva dannykh mesyachnykh summ osadkov na stantsiyakh Rossii. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2015620394. (In Russian)].
3. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>. [Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Shvets N.V. Opisanie massiva dannykh srednemesyachnoy temperatury vozdukha na stantsiyakh Rossii. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2014621485. (In Russian)].
4. Вентцель Е.С. 1999. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк. 576 с. [Venttsel' E.S. 1999. Teoriya Veroyatnostey. Moscow: Vysshaya shkola. (In Russian)].
5. Гельфан А.Н. 2017. О проблеме валидации гидрологической модели для диагностических задач // Сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения». Новочеркасск: ЮРГТУ НПИ. С. 143–149. [Gel'fan A.N. 2017. O probleme validatsii gidrologicheskoy modeli dlya diagnosticheskikh zadach // Sbornik Trudov Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiem "Vodnye Resursy: Novye Vyzovy i Puti Resheniya".

- Novocherkassk: YuRGU NPI. P. 143–149. (In Russian)].
6. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2004. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // *Метеорология и гидрология*. № 4. С. 50–66. [Gruza G.V., Rankova E.Ya. 2004. Detection of changes in climate state, climate variability, and climate extremity // *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 4. P. 31–43.]
 7. Дроздов О.А., Орлова В.В., Швер Ц.А. 1965. К вопросу об оптимальной длительности периода осреднения при климатических исследованиях // *Труды ГГО*, вып. 181. С. 14–45. [Drozdov O.A., Orlova V.V., Shver Ts.A. 1965. K voprosu ob optimal'noy dlitel'nosti perioda osredneniya pri klimaticheskikh issledovaniyakh. *Trudy GGO*, vol. 181. P. 14–45. (In Russian)].
 8. Игнатов Р.Ю., Зайченко М.Ю., Толстых М.А., Рубинштейн К.Г., Курбатова М.М. 2019. Сравнение прогнозов по региональной модели атмосферы при различных начальных и граничных условиях // *Метеорология и гидрология*. № 6. С. 17–23. [Ignatov R.Y., Kurbatova M.M., Zaichenko M.Y., Tolstykh M.A., Rubinshtein K.G. 2019. Comparison of Regional Atmospheric Model Forecasts under Different Initial and Boundary Conditions // *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 44. P. 378–383.]
 9. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. Москва: Всемирный фонд дикой природы (WWF России). 2011. 168 с. [Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochnyy doklad / Kokorin A.O. (ed.). Moscow: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF Rossii), 2011.
 10. Кирста Ю.Б. 2011. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // *Мир науки, культуры, образования*. Т. 3. № 28. С. 330–337. [Kirsta Yu.B. 2011. Spatial generalization of climatic characteristics in mountain areas. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. Vol. 3. No. 28. P. 330–337. (In Russian)].
 11. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В., Ловцкая О.В., Лубенец Л.Ф., Кузнецкий Я.Э., Пахотнова А.Ю. 2012. Имитационная математическая модель стока средних и малых рек для горных территорий // *Известия Самарского научного центра РАН*. Т. 14. № 1(9). С. 2334–2342. [Kirsta Yu.B., Puzanov A.V., Lovtskaya O.V., Lubenets L.F., Kuznyak Ya.E., Pakhotnova A.Yu. 2012. Imitating mathematical model of middle and small rivers drain for mountain territories // *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. Vol. 14. P. 2334–2342. (In Russian)].
 12. Кожанметова Э.П., Черенниченко А.В., Черенниченко В.С. 2010. О выборе периодов для расчета норм по температуре и осадкам // *Гидрометеорология и экология*. № 4. С. 9–19. [Kozhakhmetova E.P., Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S. 2010. O vybere periodov dlya rascheta norm po temperature i osadkam // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. Vol. 4. P. 9–19. (In Russian)].
 13. Модина Т.Д., Сухова М.Г. 2007. Климат и агроклиматические ресурсы Алтая. Новосибирск: Универсальное книжное издательство. 178 с. [Modina T.D., Sukhova M.G. 2007. *Klimat i Agroklimaticheskie Resursy Altaya*. Novosibirsk: Universal'noe knizhnoe izdatel'stvo. (In Russian)].
 14. Погода и климат. Архивы погоды. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (дата обращения: 10.04.2019). [Weather and climate. Archives. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php>. (the date of access: 10.04.2019). (In Russian)].
 15. Расписание погоды. Архив погоды по метеостанциям. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 10.04.2019). [Weather schedule. Weather archive for weather stations. URL: <http://rp5.ru>. (the date of access: 10.04.2019). (In Russian)].
 16. Рубинштейн Е.С. 1979. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата // Л.: Гидрометеиздат. 80 с. [Rubinshteyn E.S. 1979. Odnorodnost' Meteorologicheskikh Ryadov vo Vremeni i Prostranstve v Svyazi s Issledovaniem Izmeneniya Klimata. Leningrad: Gidrometeoizdat. (In Russian)].
 17. Сапожникова С.А. 1965. Особенности термического режима Горного Алтая // *Труды НИИАК*. Вып. 33. С. 97–133. [Sapozhnikova S.A. 1965. Osobennosti termicheskogo rezhima Gornogo Altaya // *Trudy NIIAK* 33:97–133. (In Russian)].
 18. Физико-географическое районирование СССР: характеристика региональных единиц / Под ред. проф. Н.А. Гвоздецкого. Москва: Изд-во Моск. ун-та. 1968. 576 с. [Gvozdetzkiy NA, 1968. *Fiziko-Geograficheskoe Rayonirovanie SSSR: Kharakteristika Regional'nykh Edinits*. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta. (In Russian)].
 19. Koch M., Cherie N. 2013. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia // *Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research (Koblenz, Germany, June 3–7, 2013)*. ICWRER. P. 428–523.
 20. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation // *Transactions of the ASABE*. Vol. 50. No. 3. P. 885–900.
 21. Parton K.A., Crean J. 2016. Review of the Literature on Valuing Seasonal Climate Forecasts in Australian Agriculture. Report for the Project Improved Use of Seasonal Forecasting to Increase Farmer Profitability. NSW DPI, Orange, Australia.
 22. Siegert S., Bellprat O., Menegoz M., Stephenson D.B. 2017. Detecting Improvements in Forecast Correlation Skill: Statistical Testing and Power Analysis // *Monthly Weather Review*. Vol. 145. No. 2. P. 437–450.
 23. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O. 2008. Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. doi: 10.5065/D68S4MVH
 24. WMO: Calculation of monthly and annual 30-year standard normals, WCDP. No. 10 (WMO-TD/No. 341), Geneva. 1989.

Таблица 1. Географические характеристики выбранных реперных метеостанций

№	Метеостанция	Индекс ВМО	Широта	Долгота	Высота н.у.м., м
1	Бийск-Зональная ¹	29939	52° 41'	84° 56'	222
2	Змеиногорск ²	36038	51° 09'	82° 10'	354
3	Камень-на-Оби ¹	29822	53° 49'	81° 16'	127
4	Кара-Тюрек ²	36442	50° 02'	86° 27'	2601
5	Кузедеево ³	29849	53° 20'	87° 11'	293
6	Кызыл-Озек ²	36055	51° 54'	86° 00'	324
7	Ребриха ¹	29923	53° 05'	82° 20'	218
8	Славгород ¹	29915	52° 58'	78° 39'	125
9	Солонешное ²	36045	51° 38'	84° 20'	409
10	Усть-Кокса ²	36229	50° 16'	85° 37'	977
11	Яйлю ²	36064	51° 46'	87° 36'	482

Примечание: 1 – прилегающие к Горному Алтаю равнины; 2 – Горный Алтай; 3 – Кузнецкая межгорная котловина.

Таблица 2. Среднегодовое значения температур воздуха и осадков для исследуемой территории (1951–2016 гг.)

Климатическая характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температуры, °С	-16.1	-14.7	-7.7	2.6	10.4	15.8	17.8	15.4	9.6	2.1	-7.2	-13.3
Осадки ¹ , мм	21.7	19.5	22.9	40.6	59.4	70.6	83.5	72.5	50.1	51.0	41.0	30.3

Примечание: 1 – рассчитаны по массиву данных для месячных сумм осадков на станциях России (ВНИИГМИ-МЦД, <http://meteo.ru/>).

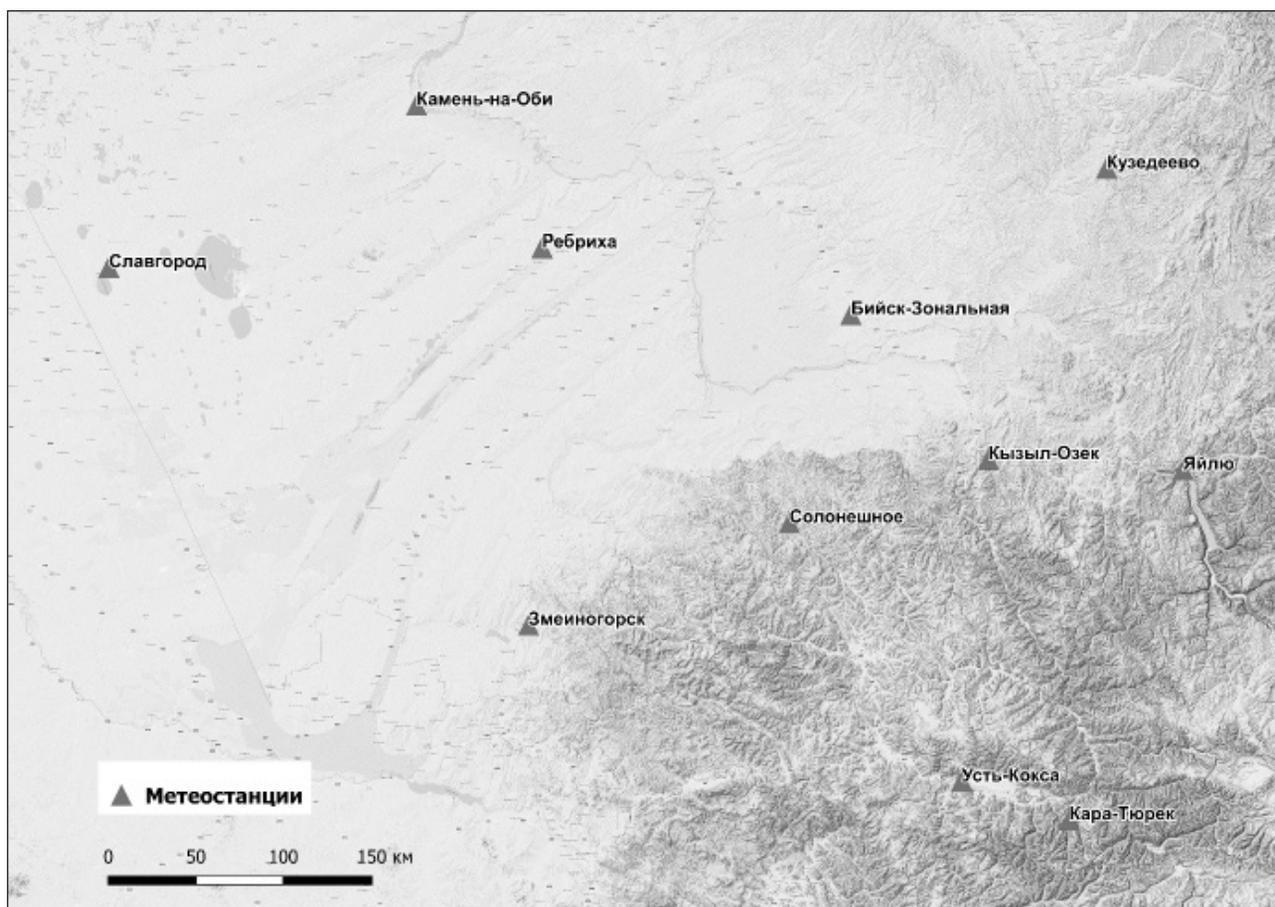


Рис. 1. Расположение реперных метеостанций, данные которых использованы для расчета относительной динамики температур воздуха и осадков по Алтае-Саянской горной стране (подложка Map data ©2015 Google) Бийск-Зональная; Змеиногорск; Камень-на-Оби; Кара-Тюрек; Кузедеево; Кзыл-Озек; Ребриха; Славгород; Солонешное; Усть-Кокса; Яйлю;

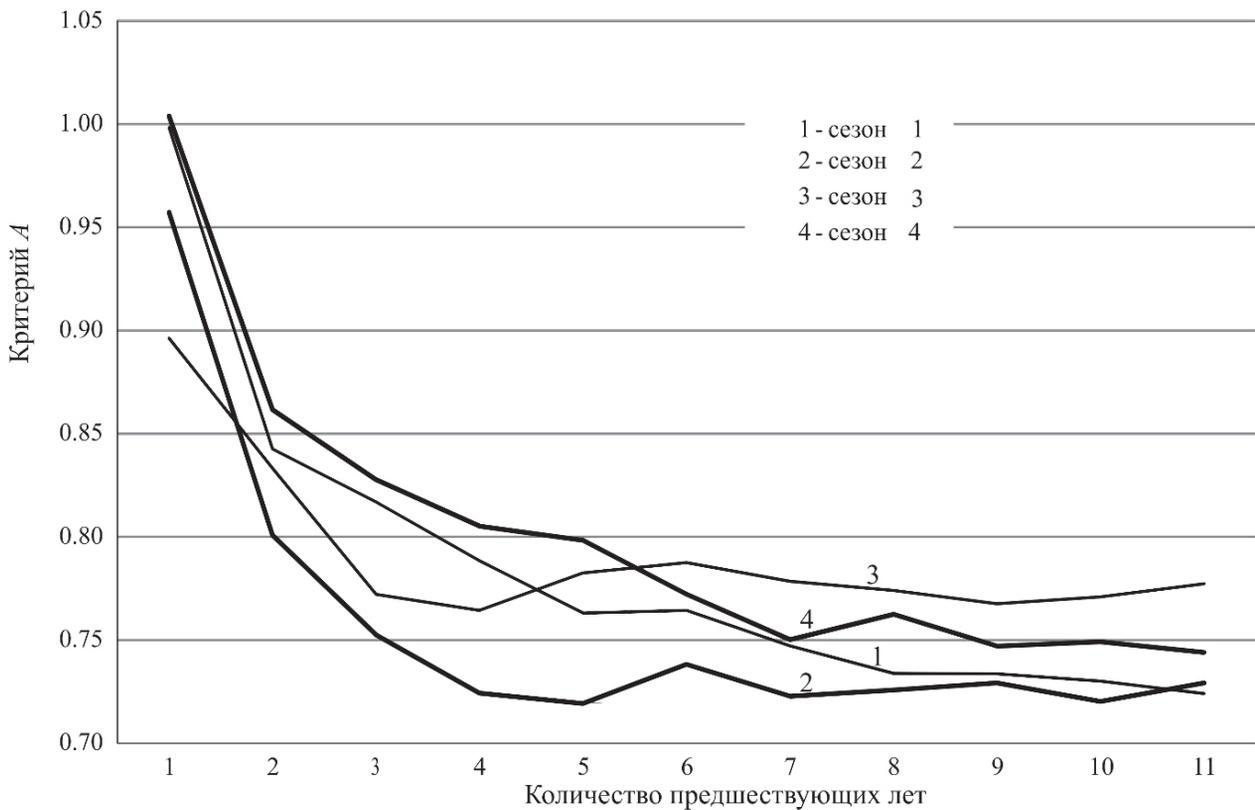


Рис. 2. Средние по метеостанциям значения критерия А для прогнозных среднемесячных температур по четырем сезонам 1984–2016 гг. в зависимости от количества лет в предшествующем прогнозному году периоде их осреднения.

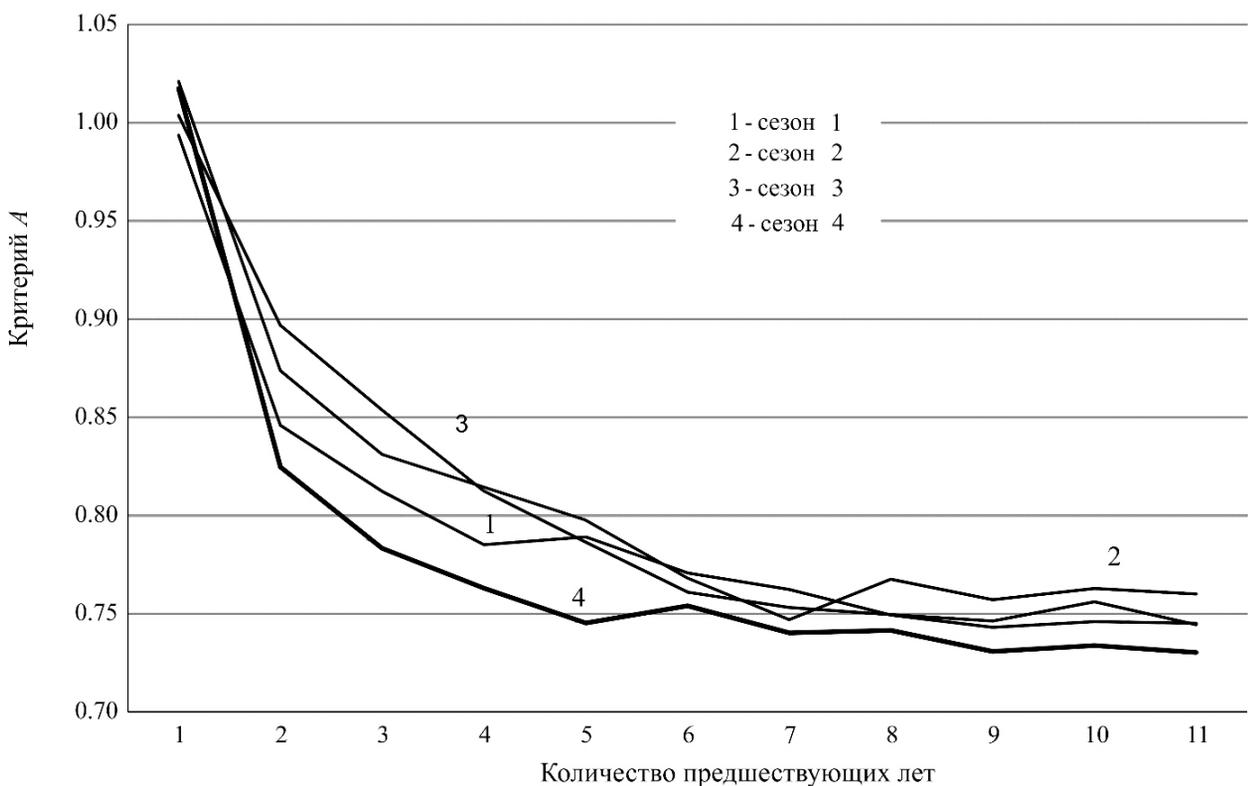


Рис. 3. Средние по метеостанциям значения критерия А для прогнозных месячных сумм осадков по четырем сезонам 1984–2016 гг. в зависимости от количества лет в предшествующем прогнозному году периоде их осреднения.