

Исследование долговременной изменчивости и условий формирования атмосферных осадков в бассейне реки Селенги

О.Ю. Марченко¹, В.И. Мордвинов², П.Н. Антохин^{3*}

¹Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130

²Институт солнечно-земной физики СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а, а/я 4026

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Поступила в редакцию 03.05.2012 г.

По стационарным данным об атмосферных осадках и температуре воздуха, данным реанализа о вертикальной скорости и общем влагосодержании атмосферы исследованы факторы, влияющие на осадкообразование в бассейне р. Селенги. Определена значимость каждого из осадкообразующих факторов и связи между ними. Выявлены сочетания факторов, наиболее благоприятные и неблагоприятные для выпадения осадков в рассматриваемом районе. Исследована долговременная изменчивость суммарного количества осадков и факторов их формирования с 1948 по 2010 г., выделены периоды, отличающиеся по условиям формирования осадков в бассейне р. Селенги. Установлено, что основной причиной снижения осадков, наблюдаемого в последние десятилетия, является уменьшение влагосодержания атмосферы, обусловленного снижением переноса влаги восточно-азиатским муссоном.

Ключевые слова: аэрозоль, бассейн р. Селенги, формирование атмосферных осадков, влагосодержание атмосферы, вертикальная скорость, приземная температура воздуха, относительная влажность, муссон; the Selenge River basin, rainfall production, precipitable water vapor, vertical velocity, surface air temperature, relative humidity, monsoon.

Введение

Изучение климатической изменчивости северных районов Восточной Азии в последние десятилетия привлекает все большее внимание исследователей [1–4]. Причиной этого является существенное увеличение засухливости в летний период на обширной территории, включающей Северный Китай, Монголию и Забайкалье. Большинство ученых считают, что уменьшение осадков на этой территории в последние два десятилетия представляет собой уникальное явление и может быть следствием глобального изменения климата [5]. Чтобы установить особенности этой связи, необходимы детальные исследования климатических изменений в отдельных регионах, поскольку должное внимание уделяется сейчас лишь климатическим изменениям в северных районах Китая.

Наша цель заключается в изучении осадкообразования в бассейне р. Селенги. Кроме теоретического интереса, актуальность исследования стока Селенги определяется высокой значимостью реки для водохозяйственной деятельности в Монголии и Бурятии [6], а также большой ролью стока реки в формировании притока в оз. Байкал [7, 8].

Количество осадков на территории водосборного бассейна р. Селенги представляет в некотором смысле аномалию. Несмотря на то что бассейн реки находится на северной окраине аридного пояса Азиатского континента (северная часть Монголии, юг Восточной Сибири) на большом удалении от источников влаги, количество осадков на территории бассейна велико. Осадки выпадают преимущественно летом, около 70% годовых осадков приходится на июнь–август, и в каждый из этих месяцев может выпадать до 90–100 мм осадков. В европейской части России лишь в немногих районах количество осадков достигает таких же значений [9].

Другой немаловажной особенностью являются существенные межгодовые и декадные колебания количества выпадающих осадков. За периодами с аномально высоким количеством осадков могут следовать засухи, и наоборот. Анализ карт распределения аномалий атмосферных осадков показал, что такие аномалии носят крупномасштабный характер и охватывают весь бассейн Селенги. Чередование лет с различным количеством осадков приводит к чередованию многоводных и маловодных периодов стока, исследование и предсказание которых является важной задачей [10], особенно в условиях происходящих сейчас глобальных климатических изменений. Для решения этой задачи необходимо, во-первых, определить, какие циркуляционные факторы в атмосфере

* Ольга Юрьевна Марченко (olgayumarchenko@gmail.com); Владимир Иванович Мордвинов (V_mordv@iszf.irk.ru); Павел Николаевич Антохин (apn@iao.ru).

обуславливают высокие значения атмосферных осадков в рассматриваемом районе, во-вторых, установить причины колебаний количества выпадающих осадков, приводящих к чередованию засушливых и многоводных периодов, и, в-третьих, оценить долговременную изменчивость этих факторов.

Процессам формирования осадков на границе Центральной и Восточной Азии посвящено большое количество исследований. Начиная с XIX в. у отечественных исследователей стали складываться определенные представления относительно формирования осадков в данном регионе. Основы этих представлений были заложены еще Н.М. Пржевальским и А.И. Воейковым [9]. Исследуя закономерности режима увлажненности территории бывшего СССР, авторы [11–15] отмечали, что Монголия, Забайкалье и юг Прибайкалья попадают в зону «азональности» распределения влагосодержания в летний период, влагосодержание атмосферы в этом регионе убывает в глубь материка при удалении от Атлантического и Тихого океанов. Повышенные значения влагосодержания атмосферы на границе Центральной и Восточной Азии авторы объясняли следующими причинами:

- 1) переносом влаги летним муссоном Восточной Азии через восточное побережье Китая;
- 2) расположением летнего полярного фронта над территорией юга Восточной Сибири;
- 3) испарением влаги с увлажненных горных территорий.

В работах зарубежных авторов [16, 17], посвященных исследованию внетропических циклонов Восточной Азии, показано, что циклоны, играющие важную роль в образовании осадков, возникают, в основном, в пределах широтного круга 40–50° с.ш. на севере Восточной Азии и часто появляются в Монголии. Это так называемые «монгольские циклоны»; формируясь на территории Монголии, они приносят аномально высокое количество осадков в Прибайкалье и Забайкалье. Помимо повышенной циклоничности, причиной большого количества осадков в регионе может быть высокое влагосодержание атмосферного воздуха, обусловленное распространением в глубь континента летнего муссона. Испарение местной влаги вряд ли может конкурировать с адвекцией. Это подтверждают расчеты соотношения местной и адвективной влаги для территории Забайкалья [12]. Согласно этим расчетам только 10–15% осадков в регионе обусловлено местным испарением, остальная часть влаги является адвективной.

На основании проведенных исследований можно заключить, что причинами долговременных вариаций количества осадков являются изменения циркуляции атмосферы и связанные с ними изменения положения полярного фронта и/или изменения основных направлений переносов влаги в летний период. Видимо, эти изменения циркуляции связаны с глобальными изменениями климата. Однако чтобы определить эти зависимости, необходимо предварительно оценить факторы, оказывающие непосредственное влияние на образование осадков. В настоящей статье представлены результаты исследования

этих факторов на внутрисезонных и межгодовых интервалах времени.

Методика и данные

Из общих соображений следует, что количество выпадающих осадков зависит от влагосодержания воздушной массы и наличия восходящих движений [9], однако априори сложно предположить, какой из этих двух факторов доминирует в регионе. Поэтому на первом этапе была исследована межсуточная изменчивость количества осадков, выпадающих в бассейне реки, в зависимости от изменений характеристик воздушных масс — влагосодержания воздуха и интенсивности восходящих движений. Для анализа межсуточной изменчивости количества осадков (P) были использованы метеорологические данные станций Кяхта и Улан-Удэ. Осадки, регистрируемые на этих станциях, неплохо согласованы на межсуточных интервалах. Кроме того, данные этих станций весьма показательны, так как станции расположены в наиболее увлажненной части бассейна р. Селенги. Данные по атмосферным осадкам и температуре воздуха на станциях Кяхта и Улан-Удэ были взяты из архива ВНИИГМИ–МЦД (Российский гидрометеорологический портал <http://www.meteo.ru/>).

Для исследования вариаций метеорологических характеристик на межсуточных интервалах времени были выбраны летние периоды 1969, 1971, 2005 гг. с 1 июня по 31 августа. В качестве характеристики влагосодержания воздушной массы была использована величина *Precipitable water (PW)* — количество влаги в столбе атмосферного воздуха [18]. Сложнее было выбрать характеристику интенсивности восходящих движений в воздушной массе. Непосредственно эта величина не измеряется, а расчетные значения дают слишком большой разброс, поэтому кроме расчетных значений изобарических вертикальных скоростей (Ω — *vertical velocity*) была использована косвенная характеристика вертикальных движений — температура подстилающей поверхности (T). В летний период для исследуемого региона высокие значения дневной температуры характерны для безоблачной антициклонической погоды с нисходящими движениями воздуха [19]. Кроме того, с температурой воздуха в летний период связана относительная влажность ($Rhum$), которая также влияет на развитие процессов осадкообразования [9, 20].

Для анализа долговременных изменений атмосферных осадков были использованы архивные данные, интерполированные в узлы регулярной сетки. Количество осадков в узлах сетки суммировалось по областям 46–51° с.ш.; 96–107° в.д. и 51–52° с.ш.; 106–109° в.д. В пределах этих же областей усреднялись характеристики воздушных масс. Для исследования были использованы данные двух климатических архивов. Анализ влагосодержания, вертикальных скоростей и относительной влажности проводился по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis (National Center for Atmospheric Research/National Centers for Environmental Modeling) [18] на сетке

2,5 × 2,5°. Осреднение атмосферных осадков по площади, а также анализ аномалий осадков в отдельные месяцы были выполнены по данным об атмосферных осадках службы погоды Германии (GPCC), интерполированным на сетке 1 × 1° [21] (GPCC – Global Precipitation Climatology Centre: <http://gpcc.dwd.de/>, режим визуализации: <http://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>).

Результаты и обсуждение

Исследование выпадения осадков в зависимости от вариаций влагосодержания и вертикальных скоростей

На рис. 1 приведены графики межсуточной изменчивости атмосферных осадков, влагосодержания, вертикальных скоростей и приземной температуры воздуха для трех летних периодов (для удобства сопоставления результаты расчетов приведены к единым шкалам).

Выделяются четыре различных режима (4 типа) осадкообразования.

I. Высокое влагосодержание – сильные восходящие движения

Данному соотношению соответствует режим выпадения осадков в июле 1971 г. При высоком влагосодержании и сильных восходящих движениях осадки интенсивны, а их выпадение носит затяжной характер. При этом увеличение влагосодержания не сопровождается увеличением приземной температуры, значения которой за весь рассматриваемый период достаточно низкие для данного региона. Отклонение осадков от нормы в бассейне превышает 70 мм.

II. Высокое влагосодержание – слабые восходящие движения

Данному соотношению соответствует режим выпадения осадков в июле–августе 1969 г. и августе 2005 г. Осадки либо слабы (2005 г.), либо их выпадение носит интенсивный, но непродолжительный характер. При этом увеличение влагосодержания сопровождается ростом температуры воздуха, а осадки выпадают лишь при ее понижении (например, при прохождении фронта). Отклонения осадков от нормы на территории бассейна, в основном, отрицательные.

III. Низкое влагосодержание – сильные восходящие движения

Данному соотношению соответствует выпадение осадков в июне, августе 1969 г., июне 1971 г. и июне 2005 г. Так же, как и в предыдущем случае, выпадают либо кратковременные интенсивные осадки (1971 г.), либо они незначительны. Отметим, что интенсивное развитие восходящих движений в данном случае сопровождается резким снижением фоновых значений

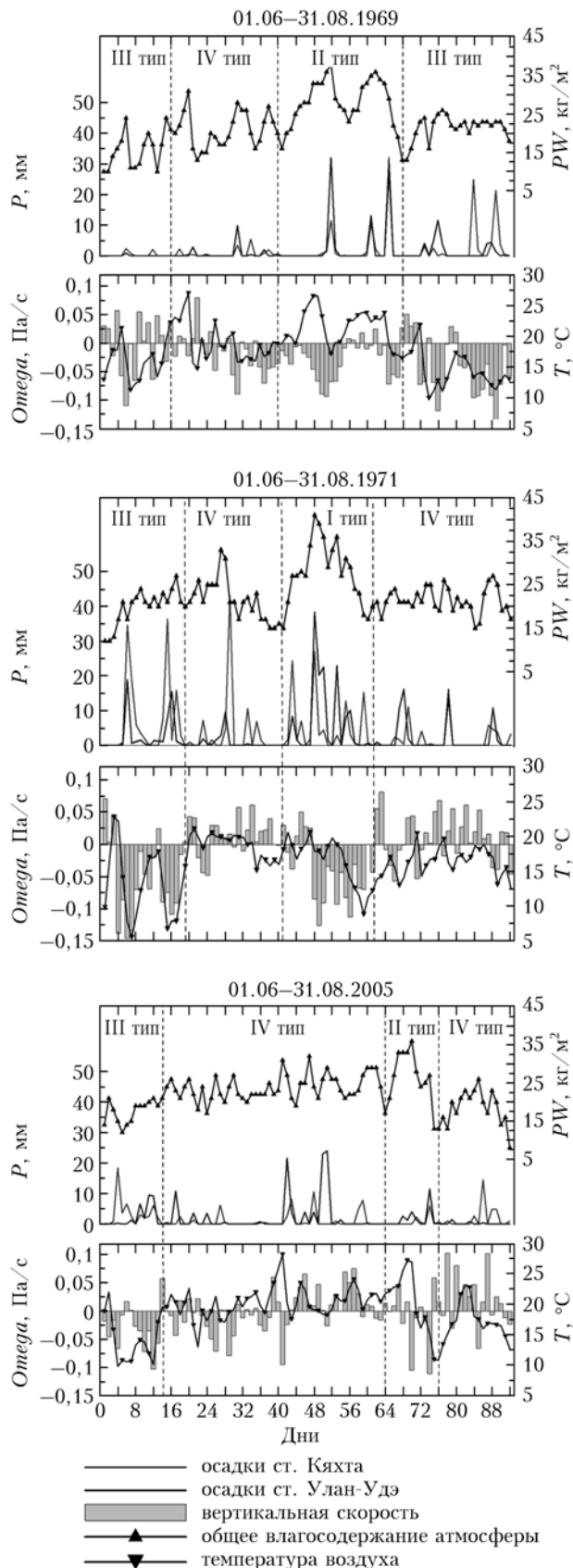


Рис. 1. Внутрисезонные изменения количества осадков, влагосодержания атмосферы, вертикальной скорости и приземной температуры воздуха

температуры воздуха. Отклонения осадков от нормы на территории бассейна в основном положительные за исключением июня 1969 г.

IV. Низкое влагосодержание — слабые восходящие движения

Данному соотношению характеристик соответствуют периоды: июнь (вторая половина), июль (первая половина) 1969 г., 1971 г., август 1971 г., июнь (вторая половина), июль и август (первая половина) 2005 г. Видно, что при данном соотношении характеристик осадков выпадает мало (за исключением 29 июня 1971 г. на ст. Кяхта). Отклонения количества осадков от нормы в бассейне отрицательные и превышают -70 мм.

Для иллюстрации общих закономерностей в выпадении атмосферных осадков на рис. 2 приведены распределения суммарного количества осадков на двух станциях в зависимости от влагосодержания и вертикальной скорости, а также в зависимости от влагосодержания и приземной температуры воздуха в целом за рассмотренные выше сезоны.

Видно, что осадки выпадают при двух соотношениях рассматриваемых характеристик. Первая область выпадения осадков связана с интенсивными восходящими движениями, низкими температурами воздуха и низким влагосодержанием атмосферы; вторая область связана с высоким влагосодержанием атмосферы, при этом диапазон вертикальных скоростей и температур более широк. Также видны соотношения влагосодержания и вертикальных скоростей, при которых осадкообразование не происходит.

Результаты исследования процессов осадкообразования по данным о межсуточной изменчивости количества осадков позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Для формирования интенсивных осадков в бассейне реки необходимо как повышенное влагосодержание атмосферного воздуха, так и наличие восходящих движений. Выпадение осадков в этом случае носит интенсивный и продолжительный характер (циклоническая активность в муссонной воздушной массе). При низком влагосодержании и отсутствии восходящих движений (повышенные значения температуры воздуха) выпадение осадков не происходит (антициклоническая циркуляция).

2. В тех случаях, когда развитие получает только один из факторов, осадки выпадают, но они либо слабы, либо кратковременны. Следует отметить, что выпадение осадков при интенсивном развитии восходящих движений, не сопровождающемся увеличением влагосодержания атмосферы, характерно для первой половины июня и второй половины августа (муссонный фактор в это время отсутствует, но активны холодные фронты). Выпадение осадков во влажном воздухе без интенсивных восходящих движений часто происходит в середине лета. Восточно-азиатский муссон в это время находится в стадии максимального развития, а фронтальные процессы, возможно, не очень интенсивны.

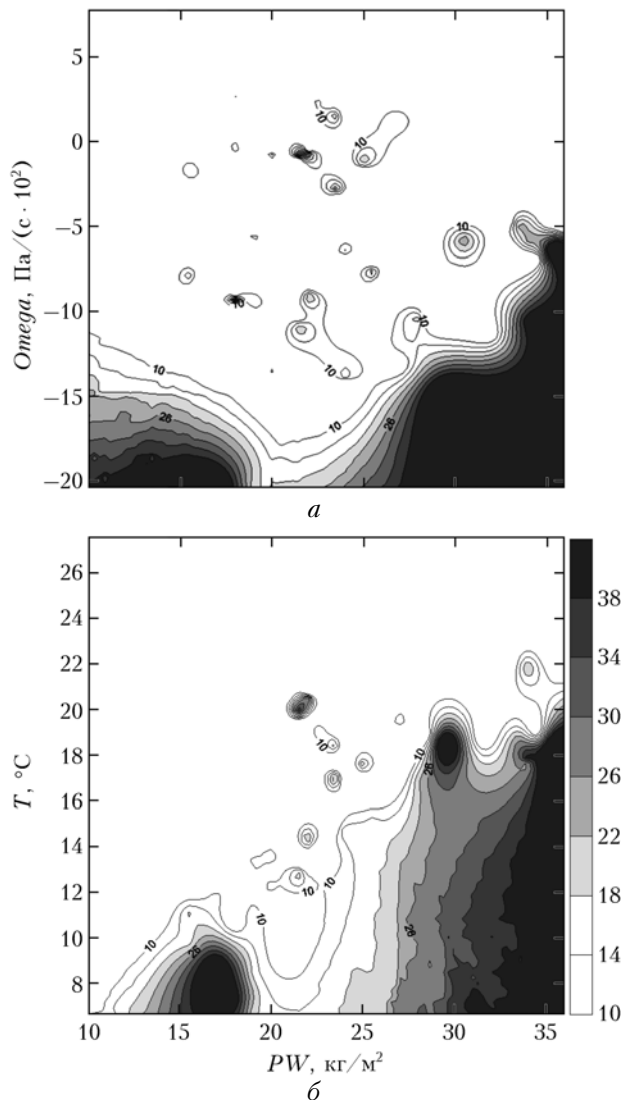


Рис. 2. Распределения количества осадков (> 5 мм) в зависимости от соотношения влагосодержания и вертикальной скорости (а); влагосодержания и температуры воздуха (б)

3. Исследование показало возможность использования приземной температуры воздуха как индикатора восходящих движений воздуха. Особенно хорошо это иллюстрируют зависимости, представленные на рис. 2. Подтвердился вывод, полученный в работе [19], — повышенные значения температуры воздуха для рассматриваемого региона наблюдаются при антициклонической циркуляции, для которой характерны нисходящие движения.

Перейдем теперь к анализу долговременной изменчивости рассмотренных характеристик.

Долговременные изменения количества осадков и характеристик циркуляции в регионе

На рис. 3 приведены графики долговременных изменений суммарного количества атмосферных осадков

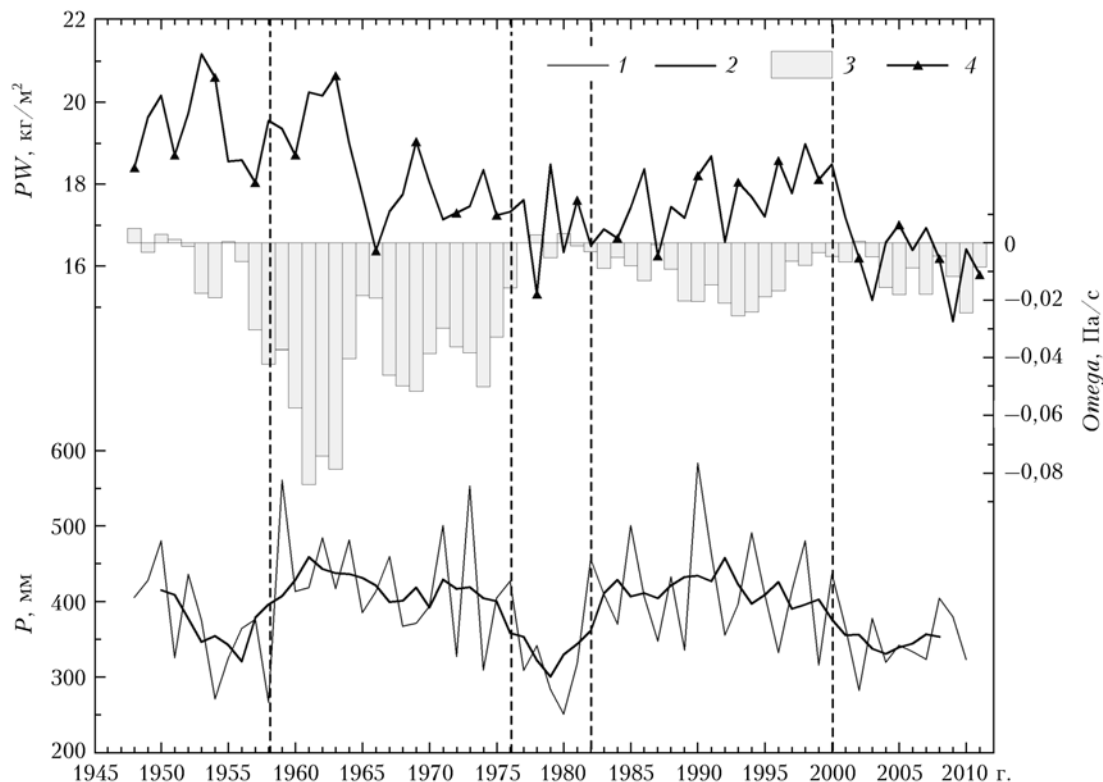


Рис. 3. Долговременные изменения количества атмосферных осадков (1), вертикальной скорости (3) и влагосодержания атмосферы (4) в летний период (июнь–август); 2 – скользящие средние по 5-летиям

и характеристик осадкообразования – влагосодержания атмосферного воздуха и вертикальной скорости, осредненных за период максимального развития восточно-азиатского муссона с 20 июня по 10 августа.

Анализ графиков позволил выделить пять временных интервалов, отличающихся как по изменчивости суммарного количества осадков, так и по их связи с характеристиками циркуляции атмосферы.

Для 1-го периода (1948–1958 гг.) характерны низкие значения количества атмосферных осадков. Влагосодержание атмосферы в этот период было велико, но восходящие движения слабы.

Во второй период (1959–1976 гг.) наблюдалось увеличение осадков. Влагосодержание атмосферы в этот период оставалось высоким, однако дополнительно усилились восходящие движения.

Третий период (1977–1982 гг.) совпал с резким ослаблением вертикальных скоростей, уменьшилось и влагосодержание атмосферного воздуха, следствием этого стало резкое снижение осадкообразования.

Четвертый период (1983–2000 гг.) по своим характеристикам схож со вторым, некоторые различия видны в величинах вертикальной скорости и влагосодержания.

Пятый период, начало которого мы отнесли к 2000 г., представляет наибольший интерес по нескольким причинам. Во-первых, он характеризует современное состояние осадкообразования в рассматриваемой области; во-вторых, по многим климатическим характеристикам этот период является уникаль-

ным. Уменьшение осадков, наблюдаемое с конца XX в., происходит в это время на фоне длительного уменьшения влагосодержания атмосферы, при этом снижение интенсивности восходящих движений наблюдалось только в самом начале. В этот период быстрыми темпами менялись температура и относительная влажность воздуха. Для иллюстрации на рис. 4 приведены графики долговременных изменений этих величин в летние месяцы на ст. Кяхта.

Хорошо видна обратная зависимость между вариациями температуры и относительной влажности как на коротких, так и на более длительных временных интервалах. Впечатляют трендовые изменения обеих характеристик, начавшиеся, видимо, в конце 80-х – начале 90-х гг. В изменении относительной влажности трендовые изменения видны несколько лучше, чем в температуре. Это показывают и результаты расчетов коэффициентов детерминации R^2 , определяющих в случае линейной связи вклад вариаций, обусловленных трендовыми составляющими. Сильный тренд в относительной влажности можно объяснить тем, что наряду с ростом температуры воздуха происходит уменьшение абсолютного количества влаги, о чем свидетельствует резкое уменьшение влагосодержания в последние 10 лет.

Анализ графиков показал, что межгодовая изменчивость осадков вполне согласуется с установленными ранее режимами их формирования. Действительно, в периоды увеличения количества атмосферных осадков (второй и четвертый) наблюдаются высокие значения влагосодержания и интенсивные

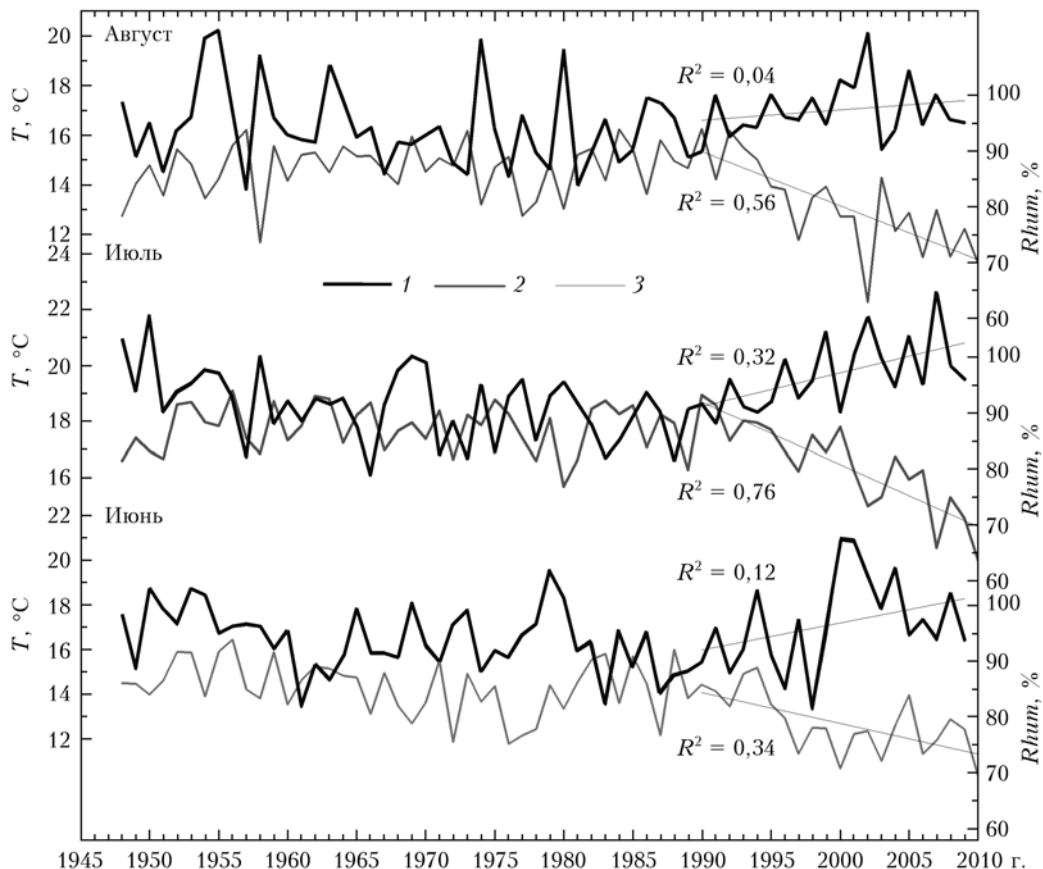


Рис. 4. Долговременные изменения приземной температуры (1) и относительной влажности воздуха на уровне 850 гПа (2); 3 – линейный тренд

восходящие движения. Как мы уже отмечали, это необходимые условия выпадения большого количества осадков. Формирование засушливых периодов может происходить при различном сочетании факторов осадкообразования: при отсутствии всех необходимых условий (третий период) или недостаточном развитии одного из факторов (первый и пятый периоды). Любопытным фактом является то, что уменьшение осадков при резком ослаблении вертикальных скоростей и уменьшении влагосодержания пришлось на середину 70-х гг. XX в. — на период, связываемый с климатическим скачком. Изменение циркуляционного режима в районе 70-х гг. и связанного с ним режима выпадения осадков на севере Восточной Азии рядом авторов уже неоднократно отмечалось [22, 23].

Остановимся более подробно на возможных причинах наблюдаемого в последние десятилетия уменьшения влагосодержания в регионе. Одной из причин, как мы отмечали, могло быть уменьшение переноса влаги летним муссоном в северные районы Восточной Азии [24, 25]. График изменения влагосодержания на рис. 3 свидетельствует в пользу этого предположения. На эту же причину указывают и результаты анализа траекторий движения воздушных частиц, приходящих в водосборный бассейн р. Селенги [26]. Анализ показал, что экстремальные осадки в бассейне р. Селенги были связаны с пере-

носами северо-западных и юго-восточных направлений, наиболее интенсивные осадки выпадали при сходности траекторий в области бассейна. В маловодные периоды р. Селенги 1976–1982 и 1996–2011 гг. преобладали траектории западных и северных направлений, а также траектории «вне типа», характерные для малоградиентных барических полей. Ослабление восточно-азиатского муссона, видимо, обусловлено глобальными климатическими изменениями [5], хотя механизм этой связи все же пока остается до конца не раскрытым.

Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что необходимым условием выпадения большого количества осадков являются как повышенное влагосодержание атмосферы, так и интенсивные восходящие движения. Для формирования засушливых периодов достаточно отсутствия одного из этих условий. Неплохим индикатором характера атмосферной циркуляции в регионе в летний период является температура приземного воздуха — пониженным значениям температуры соответствуют интенсивные восходящие движения, и наоборот. Чередование различных режимов формирования осадков является причиной долговременных изменений

количества осадков в бассейне р. Селенги. Уменьшение атмосферных осадков, наблюдаемое в бассейне реки в современный период, происходит на фоне значительного уменьшения влагосодержания атмосферы, обусловленного снижением переноса влаги восточно-азиатским муссоном. Уменьшение влагосодержания атмосферы сопровождается ростом температуры воздуха и падением относительной влажности во все летние месяцы.

1. Qian W., Hu Q., Zhu Y., Lee D.-K. Centennial-scale dry-wet variations in East Asia // *Climate Dynamics*. 2003. V. 21, iss. 1. P. 77–89.
2. Sun Y., Ding Y.-H. A projection of future changes in summer precipitation and monsoon in East Asia // *Science in China. Series D: Earth Sciences*. 2010. V. 53, iss. 2. P. 284–300.
3. Shen C., Wang W.-C., Peng Y., Xu Y., Zheng J. Variability of summer precipitation over Eastern China during the last millennium // *Clim. Past*. 2009. V. 5, iss. 2. P. 129–141.
4. Li J., Cook E.R., Chen F., Davi N. Summer monsoon moisture variability over China and Mongolia during the past four centuries // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. L22705. 6 p.
5. Zhu C., Wang B., Qian W., Zhang B. Recent weakening of northern East Asian summer monsoon: A possible response to global warming // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39. L09701. 6 p. doi: 10.1029/2012GL051155.
6. Integrated water management model on the Selenga river basin. Status survey and investigation / Eds. Yuri Mun, Ick Hwan Ko, Luntent Janchivdor // *Korea Environ. Inst. (KEI)*. 2008. 417 p.
7. Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. Новосибирск: Наука, 1976. 238 с.
8. Бережных Т.В., Абасов Н.В., Марченко О.Ю., Ветрова В.В. Пространственно-временная декомпозиция притоков в Ангарский каскад ГЭС в задачах долгосрочного прогнозирования // III Всерос. конф. с междунар. участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». Барнаул: Арт, 2010. С. 25–28.
9. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 231 с.
10. Абасов Н.В., Бережных Т.В. Прогнозирование природных рисков – необходимый компонент в долгосрочных договорных соглашениях по экспорту электроэнергии // Сб. докладов междунар. конф. «Энергетическая кооперация в Азии: прогнозы и реальность». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. С. 166–170.
11. Каминский А.А. Климат Бурят-монгольской АССР // *Проблемы Бурят-монгольской АССР*. Т. II. М.; Л.: Изд-е АН СССР, 1936. С. 152–166.
12. Корниенко В.И. Особенности влагооборота Забайкалья и прилежащих с севера и северо-востока гористых территорий // *Труды ГГО*. 1968. Вып. 227. С. 129–142.
13. Сорочан О.Г. Некоторые особенности муссонной циркуляции Восточной Азии // *Труды ГГО*. 1957. Вып. 70. С. 92–108.
14. Сорочан О.Г. Предварительные данные об основных характеристиках влагооборота над Восточной Сибирью и Дальним Востоком // *Труды ГГО*. 1961. Вып. 111. С. 15–23.
15. Кузнецова Л.П. Атмосферный влагообмен над территорией СССР. М.: Наука, 1983. 173 с.
16. Chen S.J., Zhang P.-Z. Climatology of Deep Cyclones over Asia and the Northwest Pacific // *Theor. Appl. Climatol.* 1996. V. 54, iss. 3–4. P. 139–146.
17. Wang X., Zhai P., Wang C. Variations in Extratropical Cyclone Activity in Northern East Asia // *Adv. in Atmos. Sci.* 2009. V. 23, N 3. P. 471–479.
18. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77, N 3. P. 437–471.
19. Сазонов Б.И. Суровые зимы и засухи. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 240 с.
20. Дроздов О.А. О связи относительной влажности с количеством и вероятностью осадков // *Труды ГГО*. 1955. Вып. 50(112). С. 3–15.
21. Rudolf B., Rubel B. Global Precipitation. Chapter 11 in *Hantel: Observed Global Climate, Landolt-Börnstein (Numerical Data and Functional Relationships). Group V: Geophysics*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. V. 6. 567 p.
22. Lin Z., Lua R. Abrupt Northward Jump of the East Asian Upper-Tropospheric Jet Stream in Mid-Summer // *J. Meteorol. Soc. Jap.* 2008. V. 86, N 6. P. 857–866.
23. Lin Z., Lua R., Zhou W. Change in early-summer meridional teleconnection over the western North Pacific and East Asia around the late 1970s // *Int. J. Climatol.* 2009. V. 30, iss. 14. P. 2195–2204.
24. Lisheng Hao, Jinzhong Min, Ding Yihui, Wang Ji. Relationship between Reduction of Summer Precipitation in North China and Atmospheric Circulation Anomalies // *J. Water Resource and Protection*. 2010. V. 2, N 6. P. 569–576.
25. Yu R., Wang B., Zhou T. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V. 31, L22212. 4 p. doi: 10.1029/2004GL021270.
26. Марченко О.Ю., Бережных Т.В., Мордвинов В.И. Особенности летней циркуляции атмосферы и аномалии атмосферных осадков в бассейне р. Селенги // Сб. избранных трудов междунар. молодежной школы и конференции СITES-2011. Томск: ИМКЭС СО РАН, 2011. С. 99–102.

O.Yu. Marchenko, V.I. Mordvinov, P.N. Antochin. Investigation of long-term variability and conditions for formation of precipitation in the Selenge River basin.

The factors influencing on rainfall production in the Selenge River basin are investigated, using observational data about atmospheric precipitation, surface air temperature, and NCEP/NCAR Reanalysis 1 data about vertical velocity and precipitable water vapor. The contribution of each of rainfall forming factors and relationships between them are defined. Combinations of the most favorable and unfavorable factors for precipitation in the investigated region are revealed. The long-time variations of the total rainfall and rainfall forming factors are investigated for period 1948–2010 in the Selenge River basin. The intervals with different rainfall forming conditions are showed. It was found that the main reason of precipitation decrease observed in recent decades is the atmospheric moisture content decrease caused by reduction in East Asian of the summer monsoon moisture transport.