

Увлажнение водосбора реки Зея по метеорологическим и спутниковым данным

Е.А. Черенкова, А.Н. Золотокрылин, А.Ф. Мандыч

*Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия
E-mail: cherenkova@igras.ru*

Исследованы региональные особенности осадков на территории водосбора р. Верхняя Зея с мая по сентябрь по наземным данным в период 1966–2013 гг. и спутниковым данным в период 2003–2016 гг. Показано, что на основе полученных с помощью методов дистанционного зондирования данных о количестве осадков могут быть выполнены оценки, адекватно отражающие региональные особенности относительно небольших по площади территорий со сложным рельефом.

Выделено три региона квазиоднородных изменений осадков, суммарно составляющих 80,2% общей изменчивости осадков с мая по сентябрь в период 2003–2016 гг. Выявленную согласованность колебаний осадков на метеостанции Бомнак и стока р. Верхняя Зея можно рассматривать как результат расположения метеостанции на территории региона квазиоднородных изменений осадков, в котором изменчивость осадков объясняет наибольший процент (62,3%) общей изменчивости осадков водосбора. Установлено, что в начале XXI века на метеостанции Бомнак после двадцатилетней паузы возобновились случаи наблюдения экстремальных осадков в период с мая по сентябрь. В 2001–2013 гг. отмечался статистически значимый положительный тренд осадков, коэффициент тренда составил 15,9 мм/год.

Согласно данным дистанционного зондирования, влагосодержание территории Амурско-Зейской равнины, накопленное к июлю 2013 г., было повышенным. Наиболее существенное переувлажнение территории отмечено в междуречье Амура и Зеи. Полученные результаты могут быть полезны для региональных прогностических оценок развития паводковой ситуации и ее влияния на жизнедеятельность населения.

Ключевые слова: атмосферные осадки, увлажнение, аномалии влажности почвы, дистанционное зондирование, Верхняя Зея, Дальний Восток России, Aqua, TPMM, GRACE

*Одобрена к печати: 17.04.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-305-314*

Введение

Меняющийся климат оказывает существенное влияние на водохозяйственную деятельность регионов Дальнего Востока России, тем самым определяя устойчивость их развития (Второй..., 2014). Участвовавшие в начале XXI века катастрофические паводки на р. Амур и ее притоках привели к ощутимым негативным последствиям для экосистем и жизнедеятельности населения. При этом речь идет не только о затоплении населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий, но также о влиянии на русло и пойму рек, о нарушении хозяйственной инфраструктуры в районах паводка. В 2013 г. на р. Амур наблюдалось катастрофическое наводнение, которое сформировалось после продолжительных осадков высокой интенсивности, выпадавших на всей территории водосбора в течение двух месяцев (Вербицкая и др., 2015). В Амурской области наводнением было подтоплено 126 населённых пунктов в 15 муниципальных образованиях; затоплению подверглись около 8 тысяч жилых домов с населением 36339 человек (Наводнение-2013..., 2014). В период экстремальных многоволновых паводков 2007 и 2013 годов на одном из крупнейших левобережных притоков р. Амур – реке Зее – максимальный расход воды за май–сентябрь в урочище Зейские Ворота в 1,5–2 раза превысил среднемноголетнее значение и составил 15200 и 11700 м³/с соответственно (Мандыч, 2014). Причиной выпадения интенсивных продолжительных осадков на Дальнем Востоке во второй половине лета и в начале осени 2013 г.

явилось длительное атмосферное блокирование зонального переноса в средних широтах, сопровождавшееся аномально высокой температурой поверхности западной части Тихого океана (Мохов, 2014). Наличие продолжительного блокирования зонального переноса в атмосфере связывает катастрофическое наводнение 2013 г. на Амуре и суровую летнюю засуху 2010 г. на европейской территории России. Однако, если в 2013 г. блокирование способствовало формированию аномального циклонического режима с продолжительными интенсивными осадками над восточной частью Азии, то блокинг над ЕТР в 2010 г. сопровождался установлением аномального циклонического режима над территорией Восточной Европы и Южной Азии, а экстремальные осадки привели к катастрофическому наводнению в Пакистане (Galarneau et al., 2012). Отмечается, что тенденция усиления муссонной циркуляции в условиях глобального потепления, связанная с ростом влагоемкости атмосферы, а также увеличение интенсивности осадков увеличивает риск экстремальных наводнений в бассейне Амура (Мохов и др., 2014).

Сочетание особенностей режима метеорологических параметров в предшествующий экстремальному гидрометеорологическому явлению период может играть важную роль в его возникновении и развитии. В качестве примера можно привести ситуацию, когда теплая и сухая осень в 2009 г., холодная зима (не способствующая пополнению запасов почвенной влаги за счёт снеготаяния), а также устойчивый дефицит осадков и аномально теплая погода в апреле и мае 2010 г. способствовали созданию в центре европейской территории России условий, благоприятных для возникновения засухи (Черенкова, Попова, 2015). В формировании наводнения на Амуре в 2013 г. определенную роль сыграло предшествующее значительное переувлажнение почвы, высокая водность Амура перед зимней меженью, а также поздний и высокий снего-дождевой паводок весной (Агеева и др., 2014).

Введенный в строй в 70–80-х годах прошлого века Зейский комплексный гидроузел, включающий Зейскую ГЭС и Зейское водохранилище, был создан, в частности, для регулирования стока вод реки и снижения ущерба от возможных дождевых паводков (интернет-сайт российского энергетического холдинга РусГидро <http://www.zges.rushydro.ru/>). На примере крупных паводков на р. Зее в 2007 и 2013 годах. подтверждена эффективность гидроузла (Бортин, Горчаков, 2009; Лапин, Жиркевич, 2008), были «срезаны» пики естественного паводка и уменьшен максимальный расход воды (Мандыч, 2014). Вместе с тем, редкая сеть наземных наблюдений за атмосферными осадками ограничивает возможности прогноза развития паводковой ситуации на Амурско-Зейской равнине с необходимой своевременностью.

Целью данной статьи является выявление региональных особенностей увлажнения водосбора Верхней Зеи по спутниковым данным как фактора, существенно влияющего на формирование паводков на рассматриваемой территории.

Материалы и методы

Исследование выполнено для части Амурской области, ограниченной широтами 52° и 56° с. ш. и протяжением от 123° в. д. на западе до 132° в. д. на востоке. Территория включает водосбор реки Верхняя Зeya (далее В. Зeya), а также Амурско-Зейскую равнину (рис. 1). Водосбор р. В. Зeya площадью 82400 км² охватывает Верхне-Зейскую межгорную котловину, окруженную горной цепью Станового хребта, хребтами Тукурингра и Соктахан. Зейское водохранилище относится к крупнейшим водохранилищам России. Его длина составляет 225 км, а площадь зеркала при форсированном подпорном уровне достигает 2900 км² (<http://www.zges.rushydro.ru/>). Большая часть водосбора р. В. Зeya расположена в зоне прерывистой и массивно-островной мерзлоты. На Верхне-Зейской и Амурско-Зейской равнине распространена островная и редкоостровная мерзлота. В зимний период река Зeya маловодна, основной вклад в формирование ее годового стока вносят выпадающие с мая по сентябрь муссонные осадки (рис. 2a). Сток реки зарегулирован функционированием Зейского комплексного гидроузла. В статье рассмотрены нормированные аномалии стока р. В. Зeya в створе Зейские Ворота (в районе Зейской ГЭС) в мае–сентябре в период 1961–2013 гг. относительно их климатической нормы в период 1961–1990 гг.

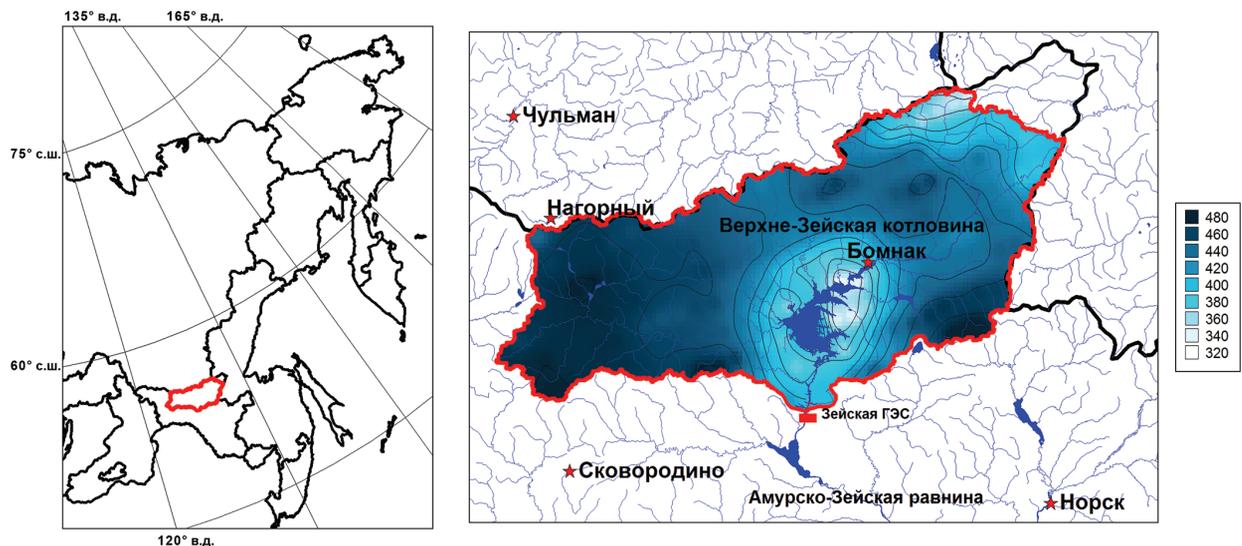


Рис. 1. Территория исследования (слева) и пространственное распределение суммарных осадков (мм) на территории водосбора р. В. Зeya с мая по сентябрь по спутниковым данным в период 2003–2016 гг. (справа). Территория водосбора р. В. Зeya обведена красной линией

На верхней части водосбора (рис. 1) находятся два осадкомерных пункта – метеостанции Бомнак и Локшак сети Росгидромет. На горной части водосбора В. Зеи регулярные измерения атмосферных осадков не производятся. Изменение суммарных осадков за май–сентябрь по наземным данным анализировались по данным метеостанции Бомнак из архива наблюдений за среднемесячными суммами осадков сети метеостанций Росгидромет (архив ВНИИГМИ-МЦД <http://meteo.ru/>). Данные метеостанции Локшак, содержащие существенные пропуски измерений, не рассматривались.

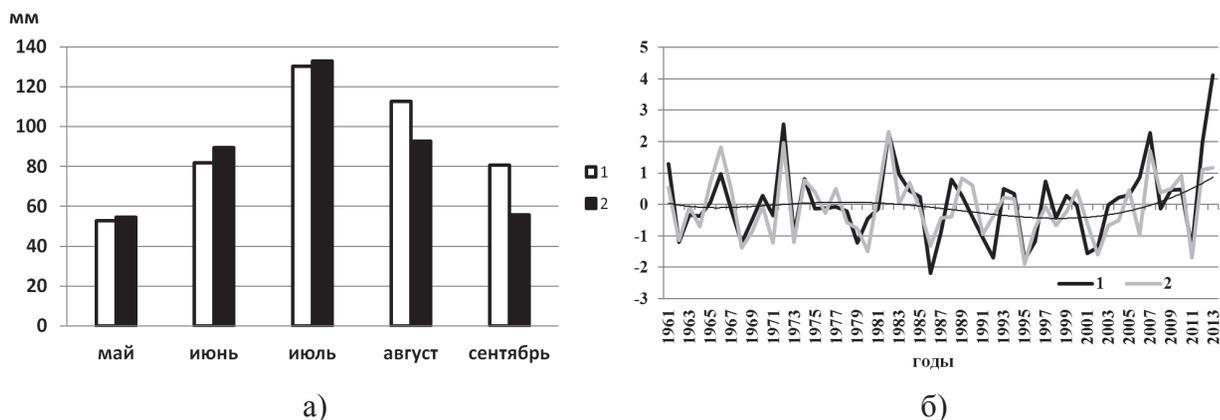


Рис. 2. а) ход осадков (мм) с мая по сентябрь в период 2003–2016 гг. по данным метеостанции Бомнак (1) и по спутниковым данным (2); б) изменение нормированных аномалий объема стока р. В. Зея в створе «Зейских Ворот» (1), а также нормированных аномалий суммарных осадков по данным метеостанции Бомнак (2) и их нелинейного тренда (тонкая линия) за май – сентябрь в период 1961–2013 гг.

В исследовании использованы данные о среднемесячных суммах осадков, рассчитанные по 8-ми срочным наблюдениям осадков за 2003–2016 гг. из архива NOAA CPC Morphing Technique (CMORPH) пространственного разрешения $0,25 \times 0,25$ град. (Joyce et al., 2004). Архив является результатом комбинирования нескольких источников данных о количестве атмосферных осадков, полученных на основе пассивных микроволновых измерений с помощью инструментария DMSP 13, 14 & 15 (SSM/I), NOAA-15, 16, 17 & 18 (AMSU-B), а также AMSR-E и TMI на борту спутников Aqua и TRMM. Было установлено, что использованные спутниковые данные хорошо отражают ход осадков в бассейне (рис. 2а). Временные ряды спутниковых данных об осадках в окрестности метеостанции Бомнак и осадков, измеренных на метеостанции Бомнак, показывают согласованность в колебаниях (коэффициент корреляции составил 0,79–0,86).

Изменение накопленного увлажнения на водосборе р. В. Зея в период 2001–2014 гг. были исследованы на основе глобального архива аномалий суммарного водного эквивалента ($\text{кг}/\text{м}^2$) пространственного разрешения $1^\circ \times 1^\circ$ гидрологической модели Noach 2.7.1 Global Land Data Assimilation System (GLDAS) эксперимента Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) (Rodell et al., 2004). Данные получены на основе спутниковых измерений изменений гравитационного поля Земли в предположении о наличии их устойчивой связи с изменениями распределения масс и не требуют дополнительной калибровки. В зимний период спутниковые данные аномалии влагосодержания на территории исследования указывают на изменения снеготолщин, а летом данные могут быть интерпретированы как аномалии запасов влаги в почве.

Основные режимы осадков на территории бассейна р. В. Зея с мая по сентябрь были исследованы с помощью метода анализа главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). Метод формирует независимые некоррелированные линейные комбинации наблюдаемых переменных так, чтобы первая компонента имела максимальную дисперсию, а следующие последовательно получаемые компоненты объясняли все меньшие доли дисперсии. Таким образом, применение процедуры PCA с опцией вращения Oblimin к спут-

никовым данным суммарных осадков за май–сентябрь позволило провести районирование территории на основе квазиоднородных изменений атмосферного увлажнения. Аналогичные результаты получены авторами с помощью иерархического кластерного анализа, описание методик приведено в работах (Comrie, Glenn, 1998; Tereshchenko et al., 2015).

Результаты

Как показано на *рис. 1а*, наибольшее количество осадков с мая по сентябрь 2003–2016 гг. на территории водосбора р. В. Зeya наблюдалось в районе средневысотных хребтов, где их выпадение обусловлено, прежде всего, орографическим эффектом. При этом максимальные суммы осадков на западе и северо-западе водосбора достигали 480 мм, а на юго-востоке – 498 мм. Наименьшие суммарные за аналогичный период осадки (с минимальными значениями в 330 мм) наблюдались в низинной части вблизи водохранилища и в районах наиболее высоких горных хребтов.

На территории водосбора р. В. Зeya было выделено три региона квазиоднородных изменений осадков, суммарно объясняющих 80,2% общей изменчивости осадков в водосборе с мая по сентябрь в период 2003–2016 гг. (*рис. 3а*). Изменчивостью осадков в первом регионе, расположенном на западе и в центре Верхне-Зейской котловины, объясняется 62,3% общей изменчивости осадков на территории. Местоположение первого региона определяется преобладающей экспозицией его склонов и наибольшим влиянием летних муссонов с ветрами южного и юго-восточного направления. Это согласуется с тенденцией усиления муссонной циркуляции в условиях глобального потепления, ассоциирующейся с ростом влагоемкости атмосферы (Мохов и др., 2014). Доля изменчивости осадков во втором регионе в юго-восточной части котловины составляет 11,4% от общей изменчивости осадков. Третий выделенный регион охватывает наиболее высокогорную территорию на северо-востоке котловины, а вариации осадков в этом регионе объясняют 6,4%. Отметим, что экстремальный рост количества осадков в мае–сентябре в годы паводков 2007 и 2013 годов на р. В. Зeya наиболее четко виден на графиках изменений осадков в первом и втором районах (*рис. 3б–3г*).

Анализ коэффициентов корреляции (*табл. 1*) показал, что временные ряды суммарных осадков на метеостанции Бомнак и стока в створе Зейских Ворот с мая по сентябрь тесно связаны. Отметим, что корреляционная зависимость между рядами меньше в период полноценного функционирования Зейского гидроузла в 1981–2013 гг. по сравнению с периодом 1961–1980 гг., когда регулирование стока реки либо не производилось, либо выполнялось в пуско-наладочном режиме работы гидроузла. Согласованность колебаний осадков на метеостанции Бомнак и стока р. В. Зeya (см. *рис. 2б*) можно рассматривать как результат расположения метеостанции на территории первого региона, объясняющего наибольший процент общей изменчивости осадков речного водосбора. Кроме того, в данном случае теснота связи стока и осадков объясняется относительно небольшой площадью

бассейна р. В. Зей. Также большую роль играет рельеф территории водосбора. Основная часть осадков сразу уходит в сток, так как площадь Верхне-Зейской равнины, задерживающей осадки, занимает приблизительно одну восьмую часть площади Верхне-Зейской котловины. Как видно из графика на *рис. 2б*, экстремальные суммарные осадки на метеостанции Бомнак не наблюдались в период с мая по сентябрь в течение двух последних десятилетий XX века. В начале XXI века случаи наблюдения экстремумов осадков возобновились. В период 2001–2013 гг. отмечался статистически значимый на уровне 0,95 положительный тренд осадков с интенсивностью 15,9 мм/год.

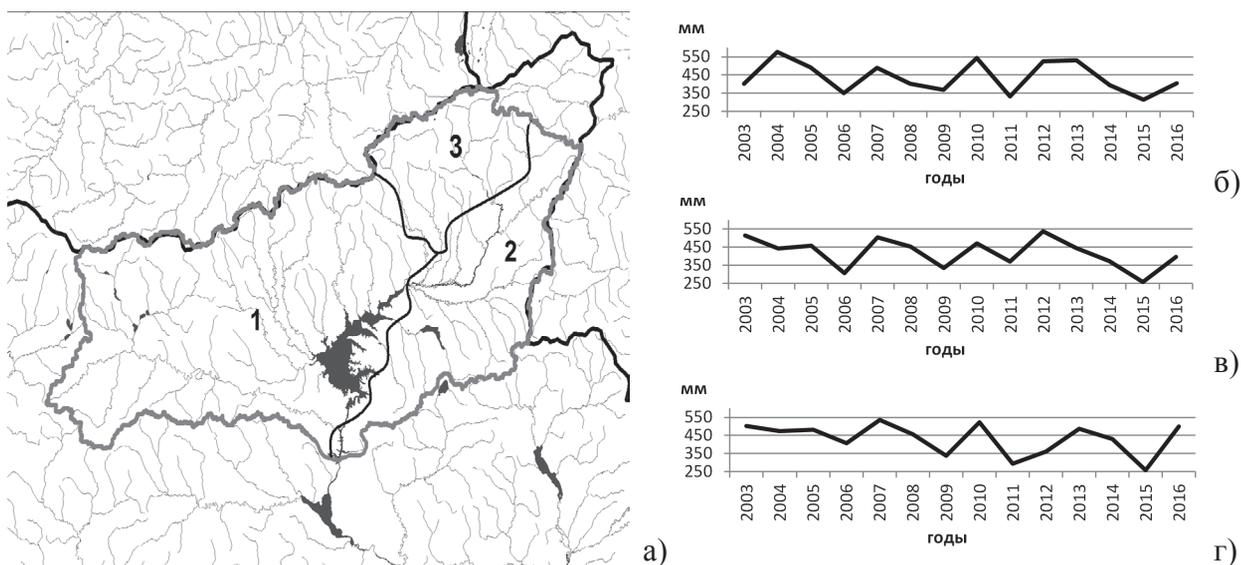


Рис. 3. Регионы квазиоднородных изменений суммарных осадков с мая по сентябрь в период 2003–2016 гг. на территории водосбора р. В. Зей (а) и их изменения в первом (б), втором (в) и третьем (г) районе по данным спутниковых измерений

Таблица 1. Коэффициенты линейной корреляции временных рядов суммарных осадков на метеостанции Бомнак и стока в створе «Зейских Ворот» с мая по сентябрь в период 1961–2013 гг. Коэффициенты статистически значимы на уровне 0,95

<i>Периоды</i>		
<i>1961–2013 гг.</i>	<i>1961–1980 гг.</i>	<i>1981–2013 гг.</i>
0,77	0,84	0,76

В качестве примера анализа увлажнения территории рассмотрим ситуацию, сложившуюся к июлю 2013 г. Как показано на *рис. 4*, в этот период на Амурско-Зейской равнине по спутниковым данным эксперимента GRACE наблюдалось повышенное влагосодержание территории, указывающее на отсутствие дефицита почвенной влаги. При этом пространственное распределение аномалий влагосодержания было неоднородным на территории равнины. Наиболее существенное переувлажнение территории отмечено в междуречье Амура и Зеи. Переувлажнение почвы сыграло значительную роль в формировании наводнения на Амуре в 2013 г., что было отмечено в работе (Агеева и др., 2014). Отме-

тим, что из-за инерционности процессов тепло-влагообмена в почве влияние изменений ее характеристик внутри климатической системы может быть долговременным. Поэтому представленные на *рис. 4* результаты следует интерпретировать как аномалии накопленной к июлю влажности почвы, сформировавшиеся при метеорологических условиях на территории в предшествующий период.

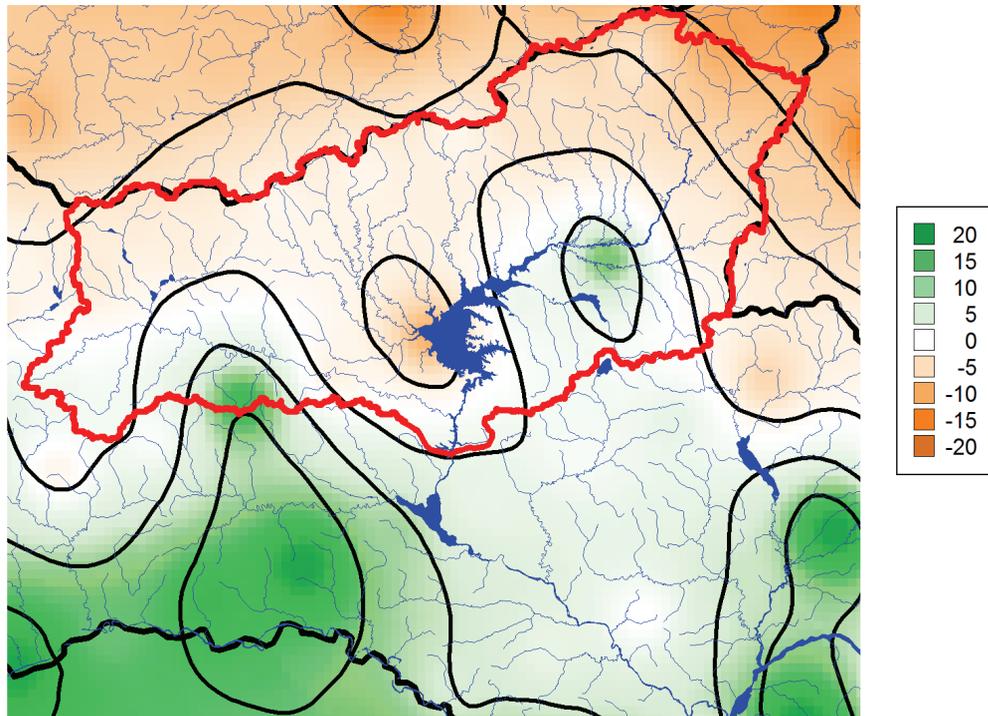


Рис. 4. Аномалия влагосодержания (см) на территории исследования в июле 2013 г.

Заключение

Проведенный анализ увлажнения территории водосбора р. Верхняя Зeya и Амурско-Зейской равнины по наземным и спутниковым данным позволяет сделать следующие выводы. Установлено, что на основе данных дистанционного зондирования о количестве осадков могут быть выполнены оценки, адекватно отражающие региональные особенности относительно небольших по площади территорий со сложным рельефом.

Выделено три региона квазиоднородных изменений осадков, суммарно объясняющих 80,2% общей изменчивости осадков с мая по сентябрь в период 2003–2016 гг. Наибольший вклад в изменчивость осадков вносили осадки, выпадающие на западе и в центре Верхне-Зейской котловины (62,3% общей изменчивости осадков). Тесную согласованность колебаний атмосферных осадков на метеостанции Бомнак и стока р. Верхняя Зeya с мая по сентябрь в период 1961–2013 гг. можно рассматривать как результат расположения метеостанции на территории региона, объясняющего наибольший процент общей

изменчивости осадков водосбора. Установлено, что в начале XXI века на метеостанции Бомнак после двадцатилетней паузы возобновились случаи наблюдения экстремальных осадков в период с мая по сентябрь. В период 2001–2013 гг. отмечался статистически значимый на уровне 0,95 положительный тренд осадков с интенсивностью 15,9 мм/год.

Выявлено, что, согласно данным дистанционного зондирования, влагосодержание территории Амурско-Зейской равнины, накопленное к июлю 2013 г., было повышенным. Результаты можно интерпретировать как свидетельствующие об аномалии влажности почвы, сформировавшейся вследствие метеорологических условий на территории в предшествующий период. Наиболее существенное повышение влажности было отмечено в междуречье Амура и Зеи. Данные об аномалии влагосодержания территории могут быть полезны в региональных прогностических оценках развития паводковой ситуации и ее влияния на жизнедеятельность населения.

Результаты исследования свидетельствуют об актуальности регионального систематического гидрометеорологического мониторинга на основе данных дистанционного зондирования, имеющих очевидное преимущество по сравнению с данными наземных измерений с точки зрения широты охвата и однородности измерений.

Часть исследования (анализ осадков с мая по сентябрь в регионах квазиоднородных изменений) была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 16-17-10236).

Литература

1. Агеева С.А., Бобрикова И.В., Вербицкая Е.М., Ефремова Н.Ф., Романский С.О. Причины и особенности формирования катастрофического наводнения на Амуре летом 2013 года // Сб. докладов Всероссийской конференции «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября – 3 октября 2014 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 18–21.
2. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Трансформация стока реки Зея водохранилищем Зейской ГЭС и её влияние на водный режим нижнего бьефа // Водное хозяйство России. 2009. № 5. С. 110–128.
3. Вербицкая Е.М., Агеева С.В., Дугина И.О., Дунаева И.М., Ефремова Н.Ф., Романский С.О., Тарасюк В.В. Катастрофическое наводнение на р. Амур летом 2013 г.: особенности и причины формирования // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 65–74.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
5. Латин Г.Г., Жиркевич А.Н. Пропуск паводков 2006 и 2007 гг. через сооружения Зейского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2008. № 10. С. 2–10.
6. Мандыч А.Ф. Еще раз о паводках на реке Зее // Сб. докладов Всероссийской конференции «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября – 3 октября 2014 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 119–123.
7. Мохов И.И. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в условиях глобального потепления // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455. № 5. С. 585.
8. Мохов И.И., Хон В.Ч., Тимажев А.В., Чернокульский А.В., Семенов В.А. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне р. Амур в связи с климатическими изменениями // сб.: Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации. М.: Росгидромет, 2014. С. 81–120.
9. Наводнение-2013. Талакан: ОАО «РусГидро», 2014. 144 с.
10. Черенкова Е.А., Попова В.В. Динамика почвенного увлажнения весной и летом 2010 г. на Европейской территории России на основе анализа данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 119–130.
11. Comrie A.C., Glenn E.C. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and Northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability // Climate Research. 1998. Vol. 10. No. 3. P. 201–215.
12. Galarneau T.J., Hamill T.M., Dole R.M., Perlwitz J.A. Multiscale Analysis of the Extreme Weather Events over Western Russia and Northern Pakistan during July 2010 // Mon. Wea. Rev. 2012. Vol. 140. P. 1639–1664.

13. Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., Xie P. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution // *J. Hydromet.* 2004. Vol. 5. P. 487–503.
14. Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D. The Global Land Data Assimilation System // *Bulletin of the American Meteorological Society.* 2004. Vol. 85 (3). P. 381–394.
15. Tereshchenko I., Zolotokrylin A., Cherenkova E., Monzon C., Brito-Castillo L., Titkova T. Changes in Aridity across Mexico in the Second Half of the Twentieth Century // *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2015. Vol. 54. P. 2047–2062.

Study of humidification of Zeya River watershed on the basis of meteorological and satellite observations

E.A. Cherenkova, A.N. Zolotokrylin, A.F. Mandych

*Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia
E-mail: cherenkova@igras.ru*

The regional peculiarities of precipitation in the Upper Zeya basin from May to September were investigated in this paper by use of meteorological data for the period of 1966–2013 and satellite data for the period of 2003–2016. It was shown that the humidification estimations made using the remote sensing data correctly reflect the regional characteristics of precipitation for relatively small areas with complex terrain structure.

Three homogeneous regions with quasi-uniform changes in precipitation account for 80.2% of the total precipitation variability from May to September in the period of 2003–2016. The revealed coherence of fluctuations of precipitation at the meteorological station Bomnak and runoff of Upper Zeya can be considered as a result of the weather station location in the region of quasi-uniform changes in precipitation where the precipitation variability explains the highest fraction (62.3%) of the total explained variability of rainfall. It was established that the extreme precipitation at the meteorological station Bomnak in the period from May to September at the beginning of 21-st century emerged after twenty years of pause. A statistically significant positive precipitation trend in 2001–2013 was identified according to the weather station data; the trend rate was 15.9 mm/year.

According to the remote sensing data, the accumulated moisture content in the Amur-Zeya plain in July 2013 was above the average. The most significant moisture content was found in the area between the Amur and Zeya Rivers. The results can be useful for prognostic assessment of regional flood development and its impact on the population.

Keywords: precipitation, humidification, soil moisture anomalies, remote sensing, Upper Zeya, Russian Far East, Aqua, TPMM, GRACE

*Accepted: 17.04.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-305-314*

References

1. Ageeva S.A., Bobrikova I.V., Verbitskaya E.M., Efremova N.F., Romanskii S.O., Prichiny i osobennosti formirovaniya katastroficheskogo navodneniya na Amure letom 2013 goda (Causes and peculiarities of formation of the catastrophic flood in the Amur region in summer of 2013), *Proc. All-Russia Conf. "Water and environmental problems, ecosystem transformation in the conditions of global climate change"*, 29 September – March 2014, Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2014, pp. 18–21.
2. Bortin N.N., Gorchakov A.M., Transformatsiya stoka reki Zeya vodokhranilishchem Zeiskoi GES i ee vliyanie na vodnyi rezhim nizhnego b'efa (Transformation of Zeya river runoff by Zeya hydroelectric complex and its impact on the water regime of the downstream), *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2009, No. 5, pp. 110–128.
3. Verbitskaya E.M., Ageeva S.V., Dugina I.O., Dunaeva I.M., Efremova N.F., Romanskii S.O., Tarasyuk V.V., Katastroficheskoe navodnenie na r. Amur letom 2013 g.: osobennosti i prichiny formirovaniya (The catastrophic flood on the river Amur in summer of 2013: causes and peculiarities of formation), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2015, No. 10, pp. 65–74.
4. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* (Roshydromet second assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation), Moscow: Rosgidromet, 2014, 1008 p.
5. Lapin G.G., Zhirkevich A.N., Propusk pavodkov 2006 i 2007 gg. cherez sooruzheniya Zeiskogo gidrouzla (Transit of floods of 2006 and 2007 through the Zeya hydroelectric complex), *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2008, No. 10, pp. 2–10.

6. Mandych A.F., Eshche raz o pavodkakh na reke Zee (Once again about floods on the river Zeya), *Proc. All-Russia Conf. "Water and environmental problems, ecosystem transformation in the conditions of global climate change"*, 29 September – March 2014, Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2014, pp. 119–123.
7. Mokhov I.I., Gidrologicheskie anomalii i tendentsii izmeneniya v basseine reki Amur v usloviyakh global'nogo potepeniya (Hydrological anomalies and trends in the Amur River basin under global warming), *Doklady Akademii nauk*, 2014, Vol. 455, No. 5, p. 585.
8. Mokhov I.I., Khon V.Ch., Timazhev A.V., Chernokulskiy A.V., Semenov V.A., Gidrologicheskie anomalii i tendentsii izmeneniya v basseine r. Amur v svyazi s klimaticheskimi izmeneniyami (Hydrological anomalies and trends in the Amur River basin in relation to climate change), In: *Ekstremal'nye pavodki v basseine r. Amur: prichiny, prognozy, rekomendatsii* (Extreme floods in the Amur River basin: causes, projections, recommendations), Moscow: Rosgidromet, 2014, pp. 81–120.
9. *Navodnenie-2013* (Flood-2013), Talakan: OAO "RusGidro", 2014, 144 p.
10. Cherenkova E.A., Popova V.V., Dinamika pochvennogo uvlazhneniya vesnoi i letom 2010 g. na Evropeiskoi territorii Rossii na osnove analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Dynamics of soil moisture in the spring and summer of 2010 in the European part of Russia based on the analysis of remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 119–130.
11. Comrie A.C., Glenn E.C., Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and Northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability, *Climate Research*, 1998, Vol. 10, No. 3, pp. 201–215.
12. Galarneau T.J., Hamill T.M., Dole R.M., Perlwitz J.A., Multiscale Analysis of the Extreme Weather Events over Western Russia and Northern Pakistan during July 2010, *Mon. Wea. Rev.*, 2012, Vol. 140, pp. 1639–1664.
13. Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., Xie P., CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution, *J. Hydromet.*, 2004, Vol. 5, pp. 487–503.
14. Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D., The Global Land Data Assimilation System, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2004, Vol. 85 (3), pp. 381–394.
15. Tereshchenko I., Zolotokrylin A., Cherenkova E., Monzon C., Brito-Castillo L., Titkova T., Changes in Aridity across Mexico in the Second Half of the Twentieth Century, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 2015, Vol. 54, pp. 2047–2062.