

Рассчитанные медианы Eff и $|Bias|$ равны 0,484 и 13,7%, что подтверждает удовлетворительное качество вычислений.

Показанная в работе перспектива получения модельных параметров с высокой степенью достоверности их определения, необходимых для оценки характеристик речного стока для неизученных водосборов, открывает широкие горизонты по улучшению методик оценки водно-ресурсного потенциала территории, оценки ресурсов поверхностных вод, в том числе и в условиях изменяющегося климата.

Литература

1. *Hsieh W.W.* Machine learning methods in the environmental sciences: neural networks and kernels. – Cambridge university press, 2009. p. 364.

2. *Гусев Е.М., Насонова О.Н.* Моделирование тепло- и влагообмена поверхности суши с атмосферой. М.: Наука, 2010. 327 с.

3. *Rasouli K., Hsieh W.W., Cannon A.J.* Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs // Journal of Hydrology. 2012. Т. 414. С. 284-293.

4. *Schaake J., Cong S., Duan Q.* The US MOPEX Data Set // IAHS Publications. 2006. № 307. С. 9-28.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАССЕЙНЕ АМУРА

Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филиппова И.А.

Институт водных проблем РАН, г. Москва
trubets@mail.ru

Введение. Катастрофическое наводнение, произошедшее на Амуре летом 2013 г., поставило перед исследователями вопрос о необходимости оценки возможности повторения явлений такого рода в будущем. В настоящее время отличительной особенностью климата на планете является его нестационарный характер, причем в различных районах климатические изменения различны, они неравномерны во времени, и интенсивность их неодинакова. Для оценки возможности повторения экстремального паводка 2013 г. на р. Амур, прежде всего, необходимо получить представление о современных тенденциях изменения климата на территории бассейна

Амура. В настоящее время наиболее выраженной тенденцией климатических изменений является рост температуры воздуха.

Особенности изменений основных климатических характеристик на территории бассейна Амура: температуры воздуха и количества осадков – детально изучались в работах П.В. Новороцкого, В.А. Обязова [1–3]. Однако упомянутые авторы провели свои исследования на материале до 2005 г. В настоящей работе использованы данные до 2013 г. включительно. Для получения статистических характеристик осадков, на основании которых впоследствии можно оценивать сток, рассмотрены вопросы выделения на территории бассейна Амура районов, однородных с точки зрения изменения осадков внутри них.

Материалы и методы исследования. Использованы данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на 80 российских, китайских и монгольских метеостанциях, расположенных в бассейне Амура, за период наблюдений с начала до 2013 г. включительно.

Исследован многолетний ход аномалий температуры за центральные месяцы сезонов и средней за год. Аномалии температуры определялись как отклонения от нормы, за которую принято значение температуры воздуха, осредненное за период 1961–1990 гг.

Проведен комплексный статистический анализ рядов летних осадков (с мая по сентябрь). Для анализа выбран период с 1966 по 2013 гг., только с этого момента условия наблюдений на российских метеостанциях не изменялись и ряды можно считать однородными. Анализ стационарности производился с помощью программного продукта HydroStatCalc2012.

Ряды стока исследованы на стационарность. Проанализированы хронологические графики рядов максимальных уровней для 27 постов р. Амур, и для подтверждения выводов ряды проанализированы на стационарность с помощью критериев Фишера и Стьюдента также на базе программного продукта HydroStatCalc2012.

Для бассейна р. Амур проведен анализ синхронности колебаний средних многолетних сумм осадков за летние месяцы. С целью выделения однородных районов применен модифицированный алгоритм классификации полей гидрометеорологических характеристик по синхронности их многолетних колебаний типа кластер-анализа [4]. В основе метода лежит анализ корреляционной матрицы по всем рассматриваемым пунктам наблюдений. Кластеры выделяются на основании того предположения, что теснота связи объ-

ектов внутри группы должна быть не ниже некоего заданного уровня $r_{кр}$. При исследовании для районирования был выбран уровень $r_{кр}=0.5$. Анализ проводился для летних месяцев: с мая по сентябрь.

Результаты и обсуждение. П.В. Новороцким [1] определено, что в росте приземной температуры воздуха в Приамурье, начавшемся в начале прошлого века, хорошо выражена неравномерность по времени, наблюдается смена периодов потепления и похолодания. Авторами настоящей работы установлено, что по сравнению с периодом, рассмотренным в [1], за последнее десятилетие тенденции изменений температуры воздуха на территории Амура в целом сохранились во все сезоны, однако темпы потепления в последнее десятилетие снизились. Наиболее существенное потепление отмечено в зимний период, наименее выражено оно летом.

На рис. 1 приведены примеры графиков многолетних изменений сумм атмосферных осадков теплого периода (май-сентябрь) на нескольких метеостанциях Приамурья. Графики наглядно показывают отсутствие тренда в изменении осадков. Проведенный статистический анализ показал, что ряды сумм осадков практически на всех метеостанциях, данные которых использовались для исследования, являются стационарными и по среднему, и по дисперсии.

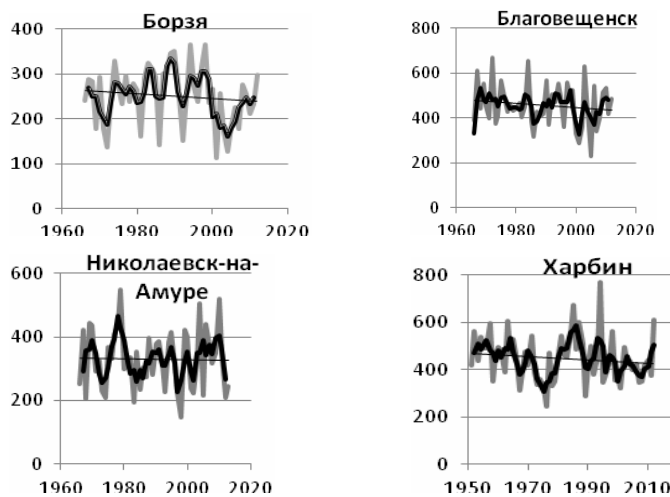


Рис. 1 – Многолетние колебания летних сумм осадков (мм) на метеостанциях. Серая линия – суммы осадков, черная линия – трехлетние скользящие средние, прямая – линейный тренд

Исследование временных рядов характеристик стока дало следующие результаты. Визуальный анализ хронологических графиков и разностно-интегральных кривых (РИК) рядов стока рек бассейна Амура позволяет предположить нарушение однородности (стационарности), относящееся к 1973-1975 гг., а на ряде постов, приуроченное к 1974-1975 гг. (ряды относятся к среднему течению реки). К этому периоду приурочено наполнение Зейского водохранилища, одна из задач которого – регулирование стока на данном участке.

Таким образом, статистическими методами обнаружено влияние хозяйственной деятельности в бассейне, что означает неоднородность и нерепрезентативность имеющихся рядов максимальных уровней. Другими словами, исследовать ряды максимальных уровней в бассейне среднего Амура за весь период наблюдений не представляется возможным, поэтому целесообразно анализировать имеющиеся нестационарные ряды по частям, выбрав за дату разбиения на части 1975 г. Влияние собственно климатических изменений на максимальные уровни не обнаружено.

Вопрос о выделении районов, однородных с точки зрения колебания сумм осадков, чрезвычайно важен для исследования стока в условиях недостаточности данных наблюдений, что характерно для бассейна Амура. Известно несколько попыток такого рода районирования. В [5] для построения рядов редукции осадков по площади на территории бассейна Верхнего и среднего Амура выделено 13 районов при районировании по принципу физико-географической однородности. Однако проведенный нами анализ синхронности колебаний многолетних рядов осадков за летние месяцы выявил слабую связанность сумм осадков на территории бассейна (рис. 2).

За каждый из летних месяцев выделилось разное количество однородных районов: от 8 в августе до 13 в июне, причем границы их изменялись от месяца к месяцу. В состав некоторых из полученных районов вошло только 2–3 метеостанции, в то время как достаточно большие участки верхнего и среднего Амура вообще невозможно было отнести к какому-либо району. Даже для июля и августа – месяцев со сходными синоптическими процессами, в период максимального развития летней муссонной циркуляции, районирование по критериям связности не получилось. Конечно, трудности в процедуре районирования обусловлены еще и недостаточно густой и неравномерной сетью метеостанций: крайняя восточная и центральная части бассейна плохо освещены данными наблюдений.

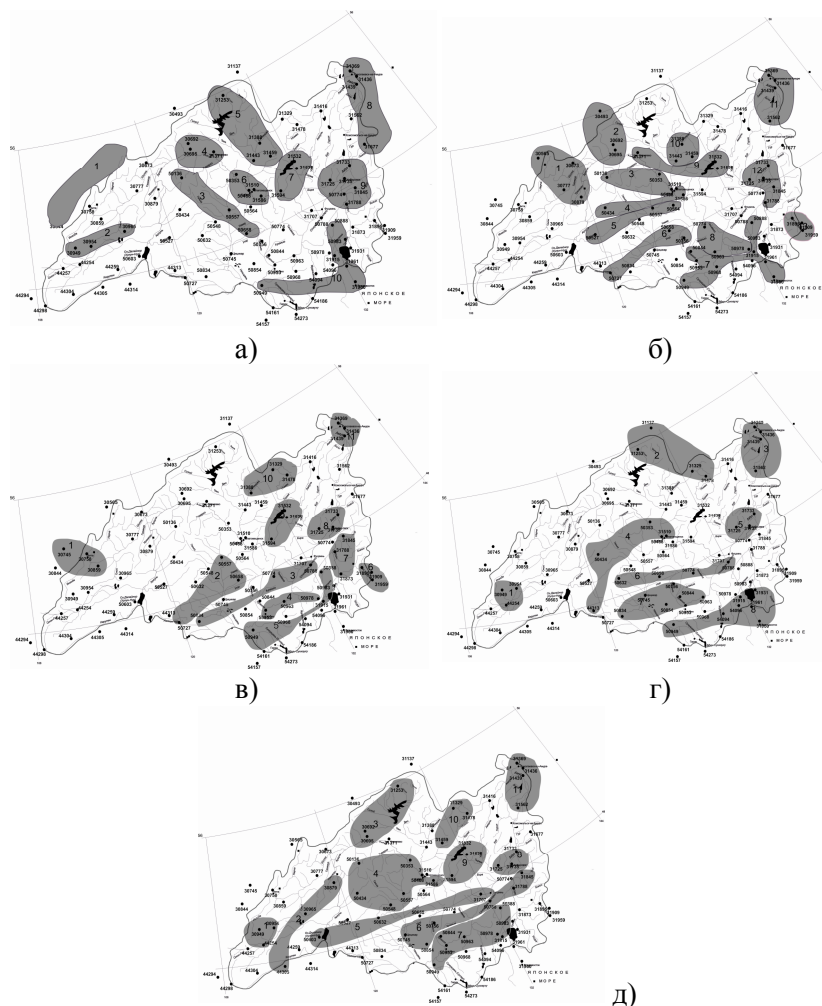


Рис. 2 – Схема расположения районов с синхронными колебаниями количества осадков за: а) – май; б) – июнь, в) – июль, г) – август, д) – сентябрь

Однородные районы выделяются в основном на равнинных территориях. Центральная часть бассейна, занятая поднятиями большого Хингана, характеризуется асинхронностью колебаний осадков. Границы выделенных нами районов не совпали с районированием, предложенным в [5]. Более того, колебания осадков на метеостанциях, входивших в однородные районы, выделенные в

этой работе, оказались асинхронными. Таким образом, вследствие сложного рельефа и неоднородности синоптических процессов на территории бассейна Амура распределение осадков носит неоднородный, пятнистый характер. Наибольшей связностью характеризуются ряды осадков восточной части бассейна.

В [6] приведен иной подход к районированию территории бассейна Амура, основанный на изучении особенностей атмосферной циркуляции. Климат всего бассейна Амура имеет муссонные черты, однако они в разной степени выражены на территории бассейна: с удалением от побережья Тихого океана они стираются. В [7, 8] предложено районирование бассейна Амура по значениям индекса муссонности С.П. Хромова (J), который представляет собой полусумму повторяемостей преобладающих направлений ветра в январе и июле. Области, в которых $J > 40\%$, считаются муссонными районами, а области, где $J = 40\%$, – районами с муссонной тенденцией. По значениям индекса муссонности С.П. Хромова бассейн Амура можно разделить на три части: муссонная, с муссонной тенденцией и районы, где отсутствует муссонная циркуляция [6]. В соответствии с вышеупомянутым исследованием, устойчивая муссонная циркуляция характерна всего лишь для 1/5 территории Приамурья, а именно: для побережий Японского моря и Татарского пролива (хребет Сихотэ-Алинь), а также для равнинных участков нижнего течения р. Амур (Средне- и Нижнеамурская равнины, южная часть Приханкайской равнины). Именно на этой территории удалось выявить районы с синхронным колебанием сумм осадков. Очевидно, что эта синхронность объясняется однородными синоптическими процессами, являющимися причиной осадков в летний период на территории бассейна Амура. С удалением от побережья муссонная циркуляция ослабевает, она очень слабо выражена на севере Амурской области и в западных континентальных частях Амура (бассейны рек Шилки и Аргуни) [7, 8], и выпадение осадков в большей степени зависит от иных, более изменчивых атмосферных процессов.

Выводы. 1. За последнее десятилетие тенденции изменений температуры воздуха на территории бассейна Амура в целом сохранились, однако темпы потепления снизились.

2. В изменении сумм осадков не выявлены направленные изменения. Ряды сумм осадков на метеостанциях практически являются стационарными и по среднему, и по дисперсии.

3. На ряде гидропостов среднего Амура выявлено нарушение однородности (стационарности) временных рядов уровней воды, относящиеся к 1973-1975 годам – времени наполнения Зейского водохранилища, однако влияние климатических изменений на максимальные уровни воды не обнаружено.

4. Проведенный анализ синхронности колебаний многолетних рядов осадков выявил слабую связанность их сумм на территории бассейна. Вследствие сложного рельефа и неоднородности синоптических процессов на территории бассейна Амура распределение осадков носит неоднородный, пятнистый характер. Только на востоке бассейна колебания осадков характеризуются синхронностью.

Литература

1. *Новороцкий П.В.* Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет. «Метеорология и гидрология», 2007, № 2. С. 43–53.

2. *Обязов В.А.* Изменения температуры воздуха и увлажненности территории Забайкалья и приграничных районов Китая // Природоохранное сотрудничество Читинской области (Российская Федерация) и автономного района Внутренняя Монголия (КНР) в трансграничных экологических регионах. Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2007. С. 247–250.

3. *Обязов В.А.* Адаптация к изменениям климата: региональный подход. // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 34-39.

4. *Жук В.А., Романова Е.А.* Об одном методе автоматической классификации гидрометеорологических величин // Вестник Московского университета, серия 5, 1981. – №4. – С.33-38.

5. *Соловьева Н.Н.* Анализ и методика расчета осадков в бассейне Верхнего и Среднего Амура и методы расчета максимальных дождевых расходов воды. Труды ЛГМИ, 1961, вып. II, с. 28-81.

6. *Новороцкий П.В.* Изменение климата в бассейне Амура // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. М.: WWF России, 2006, С. 22 – 41.

7. *Новороцкий П.В.* Распространение муссона над южной частью российского Дальнего Востока // Метеорология и гидрология, 1999, № 11. С. 40–46.

8. *Хромов С.П.* Муссоны в общей циркуляции атмосферы // А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. С. 84–108.