

А.В. ЕВГРАФОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

И.М. ЕВГРАФОВА

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ РЯДОВ МЕТЕОДАНЫХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТОКА

Цель исследования – оценить степень изменения климата на водосборах лесной зоны Российской Федерации. Обозначена проблема ненадёжности ретроспективных данных для нахождения расчётных гидрологических характеристик. Традиционные статистические методы при наличии, недостаточности и отсутствии данных наблюдений дают погрешности ввиду антропогенных изменений на водосборах. В настоящее время в сфере управления водохозяйственными системами растёт роль детерминированных моделей. Детерминированные (динамические) модели требуют в качестве исходных данных климатические данные. В работе представлена оценка стационарности рядов метеоданных. Выделены основные факторы образования стока. Оценены многолетние тренды среднегодовой температуры, годовых сумм осадков, среднегодовой скорости ветра, числа часов солнечного сияния. Используются данные метеостанций Переславль-Залесского, Рыбинска, Владимира, Москвы, Костромы. Продолжительность рядов наблюдений – 36...70 лет. Расчёт выполнен методом Аббе. Значения среднегодовой температуры и среднегодовой скорости ветра оказались нестационарными. Ряд годовых сумм осадков нарушен в отдельных районах. Число часов солнечного сияния за год оказалось стационарным. Среднегодовая скорость ветра имеет ниспадающий тренд.

Изменения климата, оценка стационарности, метод Аббе.

Введение. Одной из задач гидрологии является определение расчётных расходов для нужд водохозяйственного проектирования. Основными методами гидрологических расчётов являются традиционные статистические методы при наличии, недостаточности и отсутствии данных наблюдений с постепенным добавлением в сферу управления водохозяйственными системами детерминированных моделей [1, 2].

Антропогенные изменения на водосборах, произошедшие в XX веке и изменившие условия формирования стока, не позволяют полагать имеющиеся гидрометрические ряды однородными и без ограничений использовать эти ретроспективные данные для нахождения расчётных расходов сейчас.

Теоретической предпосылкой создания детерминированных моделей в конце

XX века было представление о стационарности метеорологических рядов. Однако в наши дни, когда изменение климата всё ещё остаётся спорным вопросом, возникает необходимость оценить степень этого изменения.

Материал и методы. Для оценки стационарности использован метод Аббе, применяемый в метрологии для выявления систематического смещения центра распределения, и, на наш взгляд, хоть и используемый в работах по оценке изменения элементов климата [3], но не так широко, как можно было бы.

Согласно МИ 2091-90 «ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования», группа результатов измерений содержит постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую

погрешность, если выполняется неравенство (1):

$$\frac{S_d^2}{S^2} < v_\tau(q, n), \quad (1)$$

где S_d – среднее квадратическое отклонение группы результатов измерений, вычисленное по формуле (2):

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2}, \quad (2)$$

где S – среднее квадратическое отклонение группы результатов измерений, вычисленное по формуле (3):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где n – число измерений в группе; X_i – i -й результат измерений; $v_\tau(q, n)$ – квантиль распределения, соответствующий уровню значимости q и числу измерений n в группе.

Значения $v_\tau(q, n)$ в зависимости от уровня значимости q и числа измерений n предоставляются в справочных таблицах (при n от 4 до 60), а при больших n – аппроксимируются уравнениями. С ростом объёмов выборок распределение статистики хорошо приближается нормальным законом [4].

Имеет место устойчивость распределения статистики критерия Аббе к отклонениям от нормального закона [4].

Критерий Аббе был применён для оценки хода тех метеопараметров, которые вносят наибольший вклад в формирование стока – в первую очередь, разумеется, осадков, а также температуры (характеризующей

глобальное потепление в целом и определяющей, например, интенсивность стаивания в частности), скорости ветра (сказывающейся на интенсивности испарения), числа часов солнечного сияния (характеризующего проходящую солнечную радиацию и, опять же, интенсивность снеготаяния).

Рассматривался регион, включающий бассейн реки Нерли Волжской (северо-восточная часть Центрального экономического района РФ), на которой в предыдущих работах отработывалась методика подготовки исходных данных для ввода их в программу расчёта стока [1]. В том числе привлекалась информация по метеостанциям, имеющим непрерывные ряды наблюдений.

В качестве исходных значений использовались базовые массивы данных по основным метеорологическим элементам с официального сайта <http://meteo.ru/data> («Температура воздуха (месячные данные)», «Месячные суммы осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов», «Продолжительность солнечного сияния (месячные данные)» и др.), а также, ввиду пропуска некоторых лет, таблицы ТСХ-1 (таблица метеорологических и агрометеорологических наблюдений (декадная)) из Архива ФГБУ «Гидрометцентр России».

Результаты и обсуждение. В таблице ниже представлены некоторые результаты оценки нестационарности.

Расчёты привели к сопоставимым с данными из работы [3] оценкам (рис.).

Таблица
Основные характеристики рядов, оценённых критерием Аббе при $q = 5\%$

| Параметр | Место измерения (метеостанция) | Период лет | Число лет | Расчётное значение Аббе | Критическое значение Аббе | Вывод о систематическом смещении |
|--|--------------------------------|-------------|-----------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Среднегодовая температура, °С | Переславль-Залесский | 1960...2017 | 58 | 0,637 | 0,79 | да |
| | Владимир | 1950...2017 | 64 | 0,774 | 0,80 | да |
| | Рыбинск | 1949...2017 | 69 | 0,608 | 0,81 | да |
| | Москва (ВДНХ) | 1948...2017 | 70 | 0,553 | 0,81 | да |
| Годовая сумма осадков, мм | Переславль-Залесский | 1961...2015 | 55 | 0,728 | 0,78 | да |
| | Рыбинск | 1966...2017 | 52 | 0,922 | 0,77 | нет |
| Годовая продолжительность солнечного сияния, ч | Рыбинск | 1978...2015 | 38 | 0,838 | 0,74 | нет |
| | Москва (ВДНХ) | 1955...1990 | 36 | 0,968 | 0,73 | нет |
| | Кострома | 1961...2018 | 58 | 0,893 | 0,79 | нет |
| Среднегодовая скорость ветра, м/с | Владимир | 1967...2013 | 47 | 0,278 | 0,76 | да |

По результатам расчётов можно сделать следующие замечания.

1. Стационарность температуры нарушена повсеместно.

2. Ряд годовых сумм осадков нарушен в отдельных районах. В Переславле-Залесском на расчётном значении Аббе оказался экстремальный для этой точки по количеству

осадков 2015 год. Как было показано в диссертации [1], пространственная изменчивость осадков намного больше, чем, например, изменчивость температуры и скорости ветра.

3. Продолжительность солнечного сияния демонстрирует стабильность.

4. Среднегодовая скорость ветра – наоборот, нестабильна и характеризуется, в отличие от температуры, не растущим, а ниспадающим трендом. Последнее можно объяснить следующим: если в результате потепления и повышения температуры температурный градиент между арктической

зоной и континентальной уменьшается, то и скорость ветра, обусловленная этим градиентом, также должна уменьшаться (цит. по http://www.atlas-yakutia.ru/weather/wind/climate_russia-III_wind_2018.html). Помимо влияния на водное хозяйство через снижение интенсивности испарения, глобальное ослабление ветра ухудшит условия рассеяния примесей и потребует в будущем изменения условий природопользования – в частности, дополнительных мер по охране атмосферного воздуха от загрязнения и корректировке санитарно-защитных зон [5].

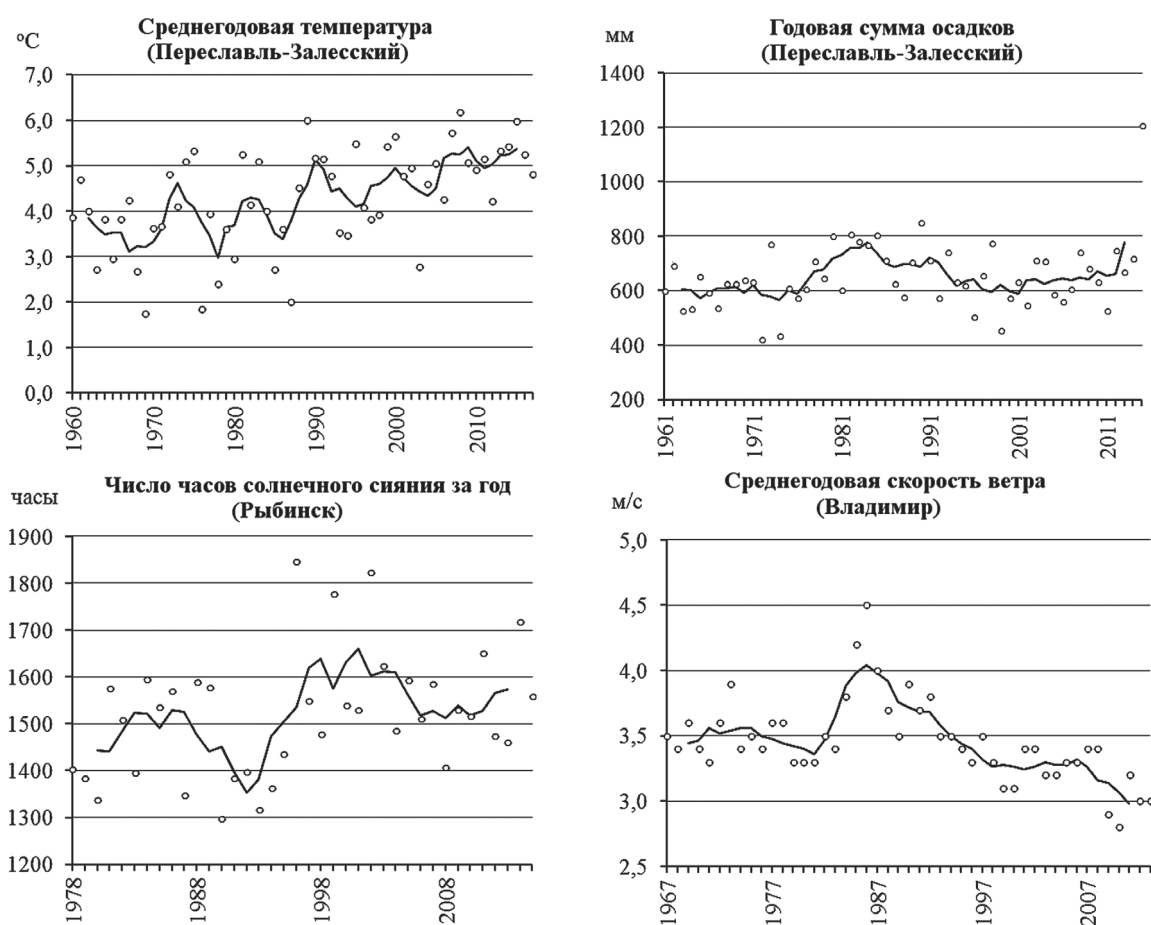


Рис. Многолетний ход значений метеопараметров
(жирная линия – скользящее осреднение по пяти точкам)

Выводы

1. Стационарность рядов метеорологических величин по результатам выборочной проверки уже нарушена.

2. Нахождение расчётных гидрологических характеристик по ретроспективным данным о погоде, также как и непосредственно по гидрометрическим рядам, чревато погрешностями из-за смещения центров распределений.

3. Метод Аббе может быть использован для решения гидрометеорологических задач.

4. Невозможность прогнозирования изменений климата чревата экономическим ущербом и осложнением водохозяйственного проектирования в связи с ростом статистической неопределённости.

Библиографический список

1. Евграфов А.В. Моделирование интенсивности склонового стока с водосборных бассейнов малых рек с использованием геоинформационной системы: дис. ... канд.

тех. наук: 06.00.00: защищена 13.10.03: утв. 16.04.04 / Евграфов Алексей Викторович; Моск. гос. ун-т природообустройства. М.: 2003. 180 с.

2. **Евграфов А.В.** Развитие методов динамического моделирования стока / Сб. Доклады ТСХА. Мат-лы межд. науч. конф. – М.: РГАУ-МСХА, 2018. – С. 307-309.

3. **Решетько М.В., Моисеева Ю.А.** Климатические особенности и статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории севера Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. № 4. – С. 108-118.

4. **Лемешко С.Б.** Критерий независимости Аббе при нарушении предположений нормальности. // Измерительная техника. – 2006. – № 10. – С. 9-14.

5. **Евграфова И.М., Лаврусевич А.А.** К вопросу обоснования корректирования размеров санитарно-защитной зоны // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 6. – С. 94-100.

Материал поступил в редакцию 02.07.2019 г.

Сведения об авторах

Евграфов Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры Общей и инженерной экологии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; e-mail: Evgrafov-aleksey@mail.ru

Евграфова Ирина Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры Инженерной геологии и геоэкологии НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: irina-sen811@yandex.ru

A.V. EVGRAFOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

I.M. EVGRAFOVA

National research Moscow state building university, Moscow, Russian Federation

ASSESSMENT OF STATIONARITY OF WEATHER DATA SERIES UNDER DYNAMIC SIMULATION OF RUNOFF

The purpose of the study is to assess the degree of climate change in the watersheds of the forest zone of the Russian Federation. The problem of the unreliability of retrospective data for finding rated hydrological characteristics is indicated. Traditional statistical methods in case of insufficiency and absence of observational data give errors due to anthropogenic changes in catchments. Currently, the role of deterministic models is growing in the field of water management systems. Deterministic (dynamic) models require climate data as a source data. The paper presents an assessment of the stationarity of weather data series. There are given main factors of runoff formation. The perennial trends of average annual temperature, precipitation, wind speed and a number of sunshine hours are assessed. The data of weather stations Pereslavl-Zalessky, Rybinsk, Vladimir, Moscow, Kostroma are used. The duration of the observations series is 36...70 years. The calculation was performed by the Abbe method. The values of average annual temperature and wind speed turned out to be non-stationary. The series of annual precipitation is broken in some areas. The number of sunshine hours per year was stationary. The average annual wind speed has a downward trend.

Climate change, assessment of stationarity, Abbe method.

References

1. **Evgrafov A.V.** Modelirovanie intensivnosti sklonovogo stoka s vodosbornyh bassejnov malyh rek s ispolzovaniem geoinformatsionnoj sistemy: dis. ... kand. teh. nauk: 06.00.00: zashchishchena 13.10.03: utv. 16.04.04/ Evgrafov Alexej Viktorovich; Mosk. gos. un-t prirodobustrojstva. М.: 2003. 180 s.

2. **Evgrafov A.V.** Razvitie metodov dinamicheskogo modelirovaniya stoka / Sb. Doklady

TSXA. Mat-ly mezhd. nauch. konf. – М.: RGAU-MSHA, 2018. – S. 307-309.

3. **Reshetjko M.V., Moiseeva Yu.A.** Klimaticheskie osobennosti i statisticheskie otsenki izmeneniya elementov klimata v rajonah vechnoj merzloty na territorii severa Zapadnoj Sibiri // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta // Inzhiniring georesursov. – 2016. – Т. 327. № 4. – S. 108-118.

4. Lemeshko S.B. Kriterij nezavisimosti Abbe pri narushenii predpolozhenij normalnosti. // Izmeritelnaya tehnika. – 2006. – № 10. – S. 9-14.

5. Evgrafova I.M., Lavrusevich A.A. K vo-prosu obosnovaniya korrektilrovaniya razmerov sanitarno-zashchitnoj zony // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitelstvo. – 2014. – № 6. – S. 94-100.

The material was received at the editorial office
02.07.2019

Information about the authors

Evgrafov Alexey Victorovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of General and engineering ecology GRAU-NSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: Evgrafov-aleksey@mail.ru

Evgrafova Irina Mikhailovna, doctor of technical sciences, professor of the department of Engineering geology and geoecology NIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavsloe shosse, d. 26, e-mail: irina-sen811@yandex.ru

УДК 502/504: 532.54: 621.644

DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-82-90

О.Н. ЧЕРНЫХ, Н.В. ХАНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

А.В. БУРЛАЧЕНКО

АО «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИНЦИПОВ РАСЧЁТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБЧАТЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ СТРУКТУР С НОРМАЛЬНОЙ И СПИРАЛЬНОВИТОЙ ФОРМОЙ ГОФРА

Приведены результаты модельных гидравлических исследований водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур с нормальной и спиральновитой формой гофра. Даются рекомендации по пользованию блок-схемой алгоритма проектирования и гидравлического расчёта сооружений из стальных гофрированных труб при отсутствии и установке гладкого лотка по дну при разных режимах пропуска водотока: безнапорном, полунпорном, частично-напорном и напорном для обеспечения бесперебойной работы транспортной магистрали, проходящей по гребню плотины или насыпи, а также гарантированного пропуска поверочного расхода водопропускным сооружением после его реконструкции. Отмечено, что при гидравлическом расчёте для разнообразных видов гофра и угла спиральности, применяемых в мировой строительной практике на сегодняшний день, разница в результатах расчёта основных параметров потока без учёта экспериментальных данных по существующим программным системам может быть значительной.

Водопропускные сооружения из стальных гофрированных труб, экспериментальные исследования, параметр расхода, безнапорный, полунпорный и напорный режимы, коэффициент шероховатости, глубины потока.

Введение. Обязательной частью экологически ориентированного проектирования водопропускной трубы из металлических гофрированных структур (МГК) является адекватное определение параметров и размеров конструктивных элементов сооружения, которые должны назначаться на основании гидравлического расчёта. Отсутствие такого раздела в проекте нарушает основные

требования по обеспечению безопасности применения на дорогах водопропускного сооружения из металлических труб с нормальным гофром (МГТ), не соответствует требованиям СП 35.13330.2011, СП 34.13330.2012 и других нормативных документов для ГТС [1, 2]. Для этого существует и ряд программных систем («CREDO Трубы», «Топоматик Robur – Искусственные сооружения», IndorCulvert и другие