

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

А.Э. Сумачев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON THE HYDROLOGICAL MODE OF NORTHERN DVINA

A.E. Sumachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Доклад посвящен актуальной проблеме изменения климата и его влияния на гидрологические характеристики. Научная новизна работы заключается в использовании возможностей искусственного интеллекта для прогнозирования речного стока. Для решения поставленной задачи автор использовал данные наблюдений по 14 гидрологическим постам, и 2 метеорологическим станциям за 1950-2015 год.*

*The report is devoted to the actual problem of climate change and its impact on hydrological characteristics. The scientific novelty of the work is to use the possibilities of artificial intelligence for predicting river flow. To solve the problem, the author used observation data for 14 hydrological stations, and 2 meteorological stations for 1950-2015.*

### **Введение.**

Настоящая работа посвящена комплексному описанию реки Северная Двина и ее притоков в современных условиях. Северная Двина является одной из важнейших водных артерий Северного Края, имея федеральное значение. Для подобного описания, требуется проанализировать как имеющуюся информацию по метеорологии и гидрологии, так и данные ежегодных наблюдений за весь период. Но описать район географически или даже гидрологически слишком мало. В условиях меняющегося климата особую актуальность и остроту получили вопросы прогнозирования речного стока. Существует огромное количество методик прогнозирования, в основу которых положены регрессионные уравнения. Возможности традиционных методов, по мнению Ю. Б. Виноградова, были доведены до предела еще 30 лет назад. Однако он отмечает, что и моделирование речного стока не смогло предложить ничего надежного и простого. В связи с этим были разработаны методики прогнозирования элементов речного стока, опирающиеся на возможности искусственного интеллекта и машинного обучения.

База использованных данных включает в себя наблюдения на 14 гидрологических постах за период с 1950 по 2015 гг. Данные взяты с 1950 г, а не с начала наблюдений, так как база данных предназначалась для обеспечения методик прогноза заторных наводнений. Одним из основных аргументов в прогнозных методиках является толщина льда, наблюдения за которой начались только с 1950[1].

В данной работе используются методы математической статистики и искусственного интеллекта. Для оценки однородности рядов, использованы критерии Стьюдента и Фишера. Для выявления тенденций в изменении водности реки применялось 3 метода: построение линейного тренда и полиномиальное сглаживание. Значимость линейных трендов оценена при помощи коэффициента корреляции. В целях долгосрочного прогнозирования основных характеристик стока построены линейные и множественные регрессионные модели, обучены нейронные сети типа MLP и RBF [2].

### **Современное состояние климата.**

Для оценки изменчивости основных характеристик климата следует проанализировать разномасштабные колебания в значениях температуры и осадков, выделить и оценить значимость линейных трендов.

Для решения поставленной задачи следует отобрать соответствующую метеорологическую информацию и построить хронологические графики рассматриваемых величин. В бассейне Северной Двины рассмотрены метеостанции в г. Великий Устюг, Вологда за период 1950 по 2015 год. На данных станциях наблюдается тренд на повышение среднегодовой температуры воздуха (рисунок 1).

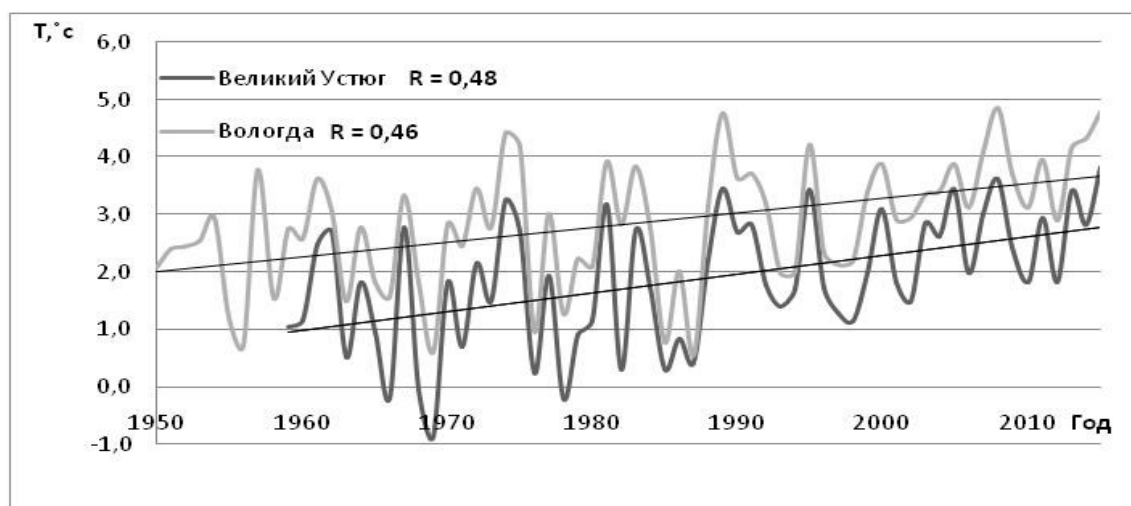


Рис. 1. Хронологический график хода температуры воздуха

Положительная тенденция обусловлена, как наличием положительных трендов среднезимней температуры воздуха, так и значимыми трендами летнего периода.

Количество осадков увеличивается внутри года неравномерно (таблица 1). Сумма осадков, выпавших за зимний период, увеличивается и приводит к увеличению годовых сумм осадков.

Таблица 1. Оценка значимости линейных трендов сумм осадков

Значимость линейных трендов			
Пункт	KR	$\delta r^2$	Значимость
Великий Устюг (Год)	00,37	0,12	Значим
Великий Устюг (Холодного периода)	00,46	0,11	Значим
Великий Устюг (Теплого периода)	,0,11	0,14	Не значим

Из данных приведенных в таблице 1, следует, что годовая сумма осадков значительно увеличивается за счет роста суммы осадков, выпавших в зимний период. Увеличение суммы осадков за теплый период не является статистически значимым, учитывая существенный рост температуры в летний период, можно предположить, что в районе за счет увеличения испарения можно ожидать дефицит стока рек в летне-осенний период. Увеличение количества твердых осадков, безусловно, должно увеличить общие снегозапасы, однако наличие зимних оттепелей нивелирует данный процесс и даже приводит к снижению содержания воды в снеге на начало снеготаяния в последние годы. Выполнив комплексный анализ основных метеорологических характеристик, можно прийти к следующему выводу: климат становится мягче и более влажным. Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,8-0,9 градуса Цельсия и данный рост является статистически значимым.

Отмечено, что изменение температурного режима современности сходно с изменениями в оптимум голоцена около 5500 л.н. и с потеплением в суббореальном периоде около 3500 л.н., только имеет меньшую амплитуду [3]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные изменения не носят антропогенного характера и связаны с естественными колебаниями в активности Солнца, океана и космоса [3,4].

**Гидрологический режим рек.**

Естественно, изменения, произошедшие в климате, сказались на гидрологическом режиме рек. Данные изменения, как и в случае с климатом, не носят какой-либо определенный характер. И связаны с перераспределением стока внутри года (таблица 2). Так, в связи с более затяжной осенью и более мягкой зимой повышаются уровни зимней и осенней межени. Но потепление климата, также оказывают свое влияние и на вскрытие, и на половодье, которое происходит более дружно и в короткие сроки [5]. Что так же вносит свой вклад в падение уровней летней межени, что, в целом, носит негативный характер.

Таблица 2. Перераспределение стока внутри года

Период	W, км <sup>3</sup>			ГГод
	Окт-февраль	Март-май	Июнь-сентябрь	
1950-2015	19,4	45,6	32,0	97
1950-1980	19,4	43,7	34,0	97
1981-2015	19,4	46,6	31,0	97
Δ%	0	6,4	9,4	00

**Прогнозирование гидрологических характеристик стока.**

В целях прогнозирования основных гидрологических характеристик стока были обучены нейросетевые модели. Критериями оценки полученных зависимостей послужили производительность, коэффициент Нэша-Сатклифа и оценка ГМЦ (таблица 3)

Таблица 3. Результаты оценки производительности нейросетевых зависимостей

Предиктант	Архитектура	Производительность	Коэф. Нэша-Сатклифа	Оценка ГМЦ
Hmax.лдж	MLP 6-10-1	0,52	0,35	Удовлетворительно
Qcp.мес.	RBF 12-30-1	0,84	0,81	Отлично
Qmax.год	MLP 6-5-1	0,89	0,86	Отлично

Приведенные данные свидетельствуют о высокой точности и надежности полученных зависимостей. Прогнозы, данные MLP 6-10-1, по оценке ГМЦ относятся к категории удовлетворительных, но данная сеть обладает большим коэффициентом Нэша-Сатклифа на 5%, по сравнению с регрессионными зависимостями. Учитывая большую заблаговременность – более 4 месяцев, данную модель можно использовать для фонового прогнозирования максимального уровня при ледоходе.

**Заключение.**

В рамках данной работы была поставлена цель комплексного описания водного режима Северной Двины и ее притоков в современных условиях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Создана база данных, включающая как гидрологическую, так и метеорологическую информацию по бассейну Северной Двины и Северного края в целом.
- 2) На основе базы данных и информации, полученной из ресурсов поверхностных вод, климатических справочников и других источников, было выполнено физико-географическое описание изучаемой территории
- 3) По данным различной дискретности были оценены тренды и современное состояние климата
- 4) Оценены разномасштабные колебания водности рек бассейна Северной Двины в условиях изменяющегося климата

5) Составлены прогностические зависимости, опирающиеся на современные методы, которые подверглись критическому анализу, после данного испытания был составлен прогноз водности Северной Двины на ближайшее время.

Для климата региона характерно статистически значимое увеличение среднегодовой температуры воздуха до 1°С в первую очередь за счет увеличения температуры воздуха летнего периода с последующим увеличением испарения на 20%. Увеличение количества осадков, выпадающих за зимний период привело к увеличению годовой суммы осадков на 100 мм. Так как осадки, выпадающие за летний период, не имеют статистически значимых трендов, наблюдается падение уровней летней межени на 30-40 см и стока за данный период на 9,4%, что негативно сказывается на судоходстве. Увеличение стока за период март-май составляет 6,4%. Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что климат района становится мягче, а в водном режиме, не смотря на стационарность, наблюдается перераспределение стока, равное 3% от годового.

Метод обучения искусственных нейронных сетей в гидрологии распространен плохо, не смотря на очевидные его преимущества. Уже сейчас вполне очевидно, что возможности этого метода не ограничиваются лишь прогнозированием. Нейронные сети прекрасно справляются с вопросами классификации и распознавания образов. Таким образом, они могут быть использованы при выделении половодий и паводков, возможность же распознавания образов может быть использована при определении русловых процессов, выделении пойм и т.д.

### **Литература**

1. Горошкова Н.И., Сумачёв А.Э., Георгиевский М.В., Георгиевский Д.В., Негуляев А.Ю., Горяинова В.А. Отчет о научно – исследовательской работе 555-НИР «Разработать геоинформационную систему мониторинга гидрологического режима р. Северная Двина в зимне-весенний период для оценки вероятности возникновения опасных заторных наводнений». СПб. ГГИ 2017. 58с
2. StatSoft, Inc. (2012). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
3. Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии Москва. ГЕОС.М. 2010. 220с
4. Е.А. Леонов Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. СПб. РИК. 2010
5. Бузин В.А. Зажоры и Заторы льда на реках России. СПб. ГГИ, ГГИ, 2015. 240с.