

Регрессионное моделирование уровня воды реки Ия в Иркутской области

С.И. Носков, Ю.Д. Аксенов, Ю. М. Сапожников

Иркутский государственный университет путей сообщения

Аннотация: Рассматривается модель прогнозирования уровня воды для предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с паводками на реках. На основе известных климатических данных за предшествующий период построена регрессионная модель, прогнозирующая уровень воды в реке Ия, Иркутская область. Осуществлен анализ предложенной модели и вклада в результат исходных параметров. Показано, что предложенная модель имеет высокую степень достоверности, и позволяет с высокой долей вероятности предсказать уровень воды на основе данных, полученных за предыдущие месяцы. Также произведен анализ опубликованных работ по моделированию различных параметров водных ресурсов.

Ключевые слова: модель, моделирование, река, уровень воды, наводнение, чрезвычайное происшествие, прогноз, статистика, мониторинг, анализ, река Ия, Иркутская область.

Введение

Глобальное потепление климата и связанное с ним усиленное таяние ледников в полярных областях, изменение режима течения Гольфстрима и ряд других факторов приводят к существенным колебаниям сезонных режимов водного баланса в мире и, в частности, в России.

Подтверждением этому являются участвовавшие в последние годы случаи стихийных наводнений в ряде европейских стран, а также в населенных пунктах, расположенных на сибирских реках. Следствием этих наводнений стали существенные разрушения хозяйственной инфраструктуры и даже человеческие жертвы.

Отсюда вытекает важность вопросов прогнозирования сезонного уровня воды в реках, а также уровня и площади стихийных подтоплений, вызванных разрушением водозащитных сооружений (дамбы, плотины и др.)

Проблема по определению, предсказыванию и мониторингу уровня воды в водных ресурсах, исследована в большом количестве работ. Так, в статье [1] рассмотрены различные методы математического моделирования

для исследования влияния параметров и режимов эксплуатации двух связанных гидрологических объектов.

В работе [2] построена математическая модель для поверхностных вод, где учитываются основные факторы, влияющие на затопление территорий, такие как плотины, осадки, ключи и многие другие. Построены уравнения мелкой воды, основная задача которых - учитывать большой объем различных факторов для определения характера испарения воды и определения коэффициента шероховатости (Гоклера - Маннинга) в зависимости от уровня воды в руслах.

Монография [3] рассматривает рациональное использование водных ресурсов и математические модели для анализа водных экосистем. Предлагаются математические модели для комплекса факторов, условий функционирования водных экосистем с учетом экологических, гидрологических, гидродинамических и других процессов.

Работа [4] предлагает математическую модель для прогнозирования изменений водного режима Ангарского водного каскада в связи с вводом новых ГЭС. Используется численное интегрирование уравнений Сен-Венана. Полученные результаты хорошо согласуются с наблюдениями, что позволяет использовать модель для прогнозных расчетов.

В монографии [5] приведено большое количество оригинальных эффективных алгоритмов численного решения уравнений мелкой воды. Основным методом в данной монографии является метод распада произвольного разрыва с учетом разрывного дна. Результаты, полученные при работе над проектом Российского научного фонда, могут использоваться специалистами в области речной гидродинамики и инженерной гидрологии при проектировании гидротехнических сооружений, численного моделирования течений со свободной поверхностью.

Диссертация [6] рассматривает волны-цунами и воздействие моря на береговую линию, предлагает модель мелкой воды, что позволяет описывать не только гидрологические явления на суше, но и активно использовать ее для моделирования астрофизических систем, морских и океанических течений, а также других климатических процессов в системе атмосфера-океан с применением многослойных моделей.

Статья [7] рассматривает важнейший параметр – динамику грунтовых вод. Годовая серия наблюдений позволяет графически отобразить динамику и исследовать ее, что, в результате, позволило построить математическую модель для классификации интразональных ландшафтов речных пойм.

В статье [8] приводится пример математического моделирования затопления территорий с использованием уравнений диффузии. Представленные методы оценки и оцифровки топографических карт позволяют не только моделировать прогнозирование затоплений территорий, но и оценивать использование вод для противопожарного назначения.

Монография [9] посвящена моделированию стоков горных рек в условиях ограниченной информации. Здесь изложено моделирование гидрологических процессов и предложена концептуальная динамическая модель формирования общего стока горных рек. Основное направление работ - помощь гидрологам, специалистам водного хозяйства, а также для обучения студентов.

В статье [10] рассмотрено и предложено объединение двух моделей. Одна рассматривает динамику воды в море, в то время как другая в дельте реки, что позволяет оценивать влияние одного водного ресурса на другой. Эти исследования крайне важны для анализа движения судов и общей зависимости водоемов друг от друга.

Одним из важнейших элементов по оценке уровня воды в водоемах является долгосрочный прогноз состояния водоема, который

рассматривается в статье [11]. Основные задачи этой работы - определить текущее состояние и построить математическую модель для долгосрочного прогноза уровня воды в озерах.

В то же время необходимо иметь картину колебания уровня воды в водоемах в зависимости от сооружений, населенных пунктов и ГЭС, что рассматривается в статье [12]. Предложенная математическая модель прогнозирует средний уровень воды ниже по течению ГЭС. В результате данная математическая модель получила детерминацию близкую к единице, что является хорошим коэффициентом прогноза.

В связи с тем, что грунтовые и поверхностные воды связаны между собой, имеет смысл исследовать их по отдельности для определения взаимосвязи между ними. Эта задача решалась в статье [13]. В результате получены важные результаты по взаимосвязи уровня воды и других параметров грунта.

Статья [14] рассматривает состояние стоков рек, напрямую связанных с озерами. Предложенная математическая модель удовлетворяет всем поставленным условиям и позволяет с уверенной точностью оценить сток реки в зависимости от времени года.

В статье [15] дана методика прогнозирования паводков в наиболее опасные, дождевые сезоны. Предложенная модель позволяет заблаговременно, за 7 дней определить возможные паводки с высокой долей вероятности, что позволяет обезопасить материальные и человеческие ресурсы.

В работах [16,17] рассматриваются проблемы расчета водных потоков, связанных с разделением русел рек. Выявляются актуальные проблемы расчетов и методов, предлагаются новые методы.

Исследование [18] с использованием методов мультилинейной регрессии (MLR) осуществлено прогнозирование концентрации

растворенного кислорода в нижнем течении реки города Агра. В качестве исходных параметров использованы ежемесячные значения рН, температуры воды (WT) в трех разных местах, а именно: Агра вверх по течению, среднее течение и вниз по течению. Всего было использовано 11 входных параметров.

В работе [19] предложен метод двухэтапного моделирования для повышения точности и эффективности прогнозирования суточных уровней воды реки Янцзы.

В этой статье нами предложена регрессионная математическая модель прогнозирования уровня воды в реке Ия, предназначенная для обеспечения безопасности близлежащих населенных пунктов, материальных ценностей, жизни и здоровья людей.

Обоснование метода

Наводнение, случившееся 28 июня 2019 года в Тулунае, справедливо называют историческим событием. Никогда до этого события город не подвергался настолько разрушительному воздействию стихии. В результате выпадения обильных осадков вода в реке Ия поднялась до уровня в 14 метров.

Заблаговременное прогнозирование любых чрезвычайных ситуаций, в том числе наводнений, позволит избежать сокрушительных потерь. В связи с огромной территорией использование точных технически сложных станций является трудным и дорогостоящим процессом. В этой статье предложено регрессионное моделирование на основе уже известной статистической информации.

В качестве информационной базы исследования примем статистические данные по реке Ия [20,21] по выделенным ежемесячным показателям за 2020-2023 гг., представленные в табл.1 (всего 40 наблюдений).

Таблица 1.

Исходная информация для моделирования.

t, месяц	$Y_{\text{стат}}$, см	x^1 , дни	x^2 , °C	x^3 , °C	x^4 , мм	x^5 , см	x^6 , ГПа
1	2	3	4	5	6	7	8
январь.20	304,33	4,00	-14,00	-17,00	7,20	28,84	1023,26
февраль.20	277	3,00	-10,00	-15,00	4,70	30,55	1024,27
март.20	262,66	5,00	-1,00	-6,00	11,00	23,65	1015,81
апрель.20	305,3	1,00	13,00	5,00	16,30	1,80	1019,11
май.20	368,68	5,00	15,00	8,00	30,60	0,00	1010,25
июнь.20	411,21	2	19	12	113,7	0	1002,22
июль.20	465,4	6	21	15	115,6	0	1001,64
август.20	495,55	8	20	13	110	0	1003,71
сентябрь.20	555,04	10	13	7	140,5	0	1012,17
октябрь.20	409,45	3	5	-1	13,3	2,23	1018,18
ноябрь.20	297,93	2	-4	-9	21,1	5,09	1025,44
декабрь.20	357,93	3	-16	-18	12,1	13,93	1028,89
январь.21	306,5	8	-19	-21	25,8	22,93	1028,55
февраль.21	288,5	7	-14	-17	26,4	32,58	1021,17
март.21	283,33	3	-3	-9	17,2	38,7	1015,68
апрель.21	310,03	7	5	-1	20	14,28	1018,75
май.21	427,5	7	11	4	69,9	0	1008,7
июнь.21	582,19	3	20	11	76,1	0	1004,25
июль.21	452,43	3	24	15	15,2	0	1002,4
август.21	546,17	2	20	12	104,7	0	1006,71
сентябрь.21	450,6	3	11	5	51,1	0,67	1012,65
октябрь.21	351,73	4	6	-1	11,8	1	1020,56
ноябрь.21	300,18	8	-4	-8	15,4	4,73	1019,07

1	2	3	4	5	6	7	8
дек.21	382,18	3	-14	-16	12,3	10,87	1026,29
январ.22	295,33	5	-14	-17	20,1	23,62	1027,47
февр.22	272	3	-13	-17	5,6	29	1028,71
мар.22	262,5	0	-5	-10	4,3	24	1017,01
апр.22	288,45	9	8	1	15,8	4,58	1014,93
май.22	370,97	0	18	8	25,6	1	1009,59
июн.22	396,28	7	21	12	27,8	0	1002,09
июл.22	455,14	11	19	13	151,7	0	1001,38
авг.22	441,17	8	16	10	108,1	0	1006,84
сен.22	384,93	7	12	7	50,8	0	1011,41
окт.22	350,1	4	4	0	22,5	0,11	1021,98
ноя.22	280,83	6	-6	-10	14,4	4,03	1020,94
дек.22	313	4	-14	-17	12,8	8,93	1030,62
январ.23	283	7	-17	-20	17,5	17,46	1025,47
февр.23	267	3	-10	-16	6,3	23,27	1026,5
мар.23	270,67	2	-1	-6	7,5	19,22	1016,24
апр.23	269,8	2	3	-3	18,6	1,2	1014,15

Основная задача - спрогнозировать и предсказать уровень воды в реке Ия, исходя из известных ретроспективных значений природных факторов за известный период времени в прошлом.

Введем следующие обозначения: y_t – уровень воды в реке Ия в t -ом месяце, x^1 – количество дней с осадками в горах Саян, x^2 – средняя дневная температура за месяц, °С, x^3 – средняя ночная температура за месяц, °С, x^4 – количество осадков в мм за месяц, x^5 – глубина снежного покрова, см, x^6 – среднее атмосферное давление за месяц, гПа. Таким образом, каждый

параметр x имеет два индекса, где первый (верхний) – наименование природного параметра, а нижний индекс t – задержка в месяцах по отношению к месяцу, в котором необходимо узнать уровень воды в реке. Индекс $t=0$ - это текущий, а остальные - количество месяцев в прошлом. Например, x_{t-3}^5 обозначает глубину снежного покрова три месяца назад по отношению к месяцу t .

Оказалось, что все вышеперечисленные параметры в той или иной степени влияют на текущий уровень воды. Причем данный подход дает более точные результаты, чем просто моделирование уровня воды в реке на основании данных по уровням за предыдущие годы.

Основные вычисления и проверка теории производились на выборке за 3 года. По результатам математического анализа были выделены основные параметры, которые в большей мере влияют на изменение уровня реки.

Регрессионная модель представлена ниже

$$y = -0.86x_t^1 - 6.96x_t^2 - 8.99x_{t-1}^6 - 2.43x_{t-2}^3 - 1.63x_{t-2}^6 + 7.75x_{t-3}^5 \\ (-0.36) \quad (-2.96) \quad (-3.49) \quad (-1.05) \quad (-0.67) \quad (4.97) \\ -8.57x_{t-4}^2 + 25.28x_{t-4}^3 + 6.08x_{t-5}^5 + 13.38x_{t-5}^6 - 2465.01 \\ (-1.35) \quad (2.92) \quad (5.21) \quad (4.55)$$

$$R^2 = 0.89, F = 19.66$$

Здесь R^2 – критерий множественной детерминации, F – критерий Фишера. Под каждым коэффициентом модели указано значение t -критерия Стьюдента.

Это уравнение явилось результатом конкурса моделей с учетом вклада лагов до пятого включительно. Значения критериев адекватности R^2 , F и Стьюдента указывают на весьма приемлемое качество модели.

График, представленный ниже, также подтверждает полученные результаты. На нем синий цвет – вычисленные значения, а красный – статистические данные.

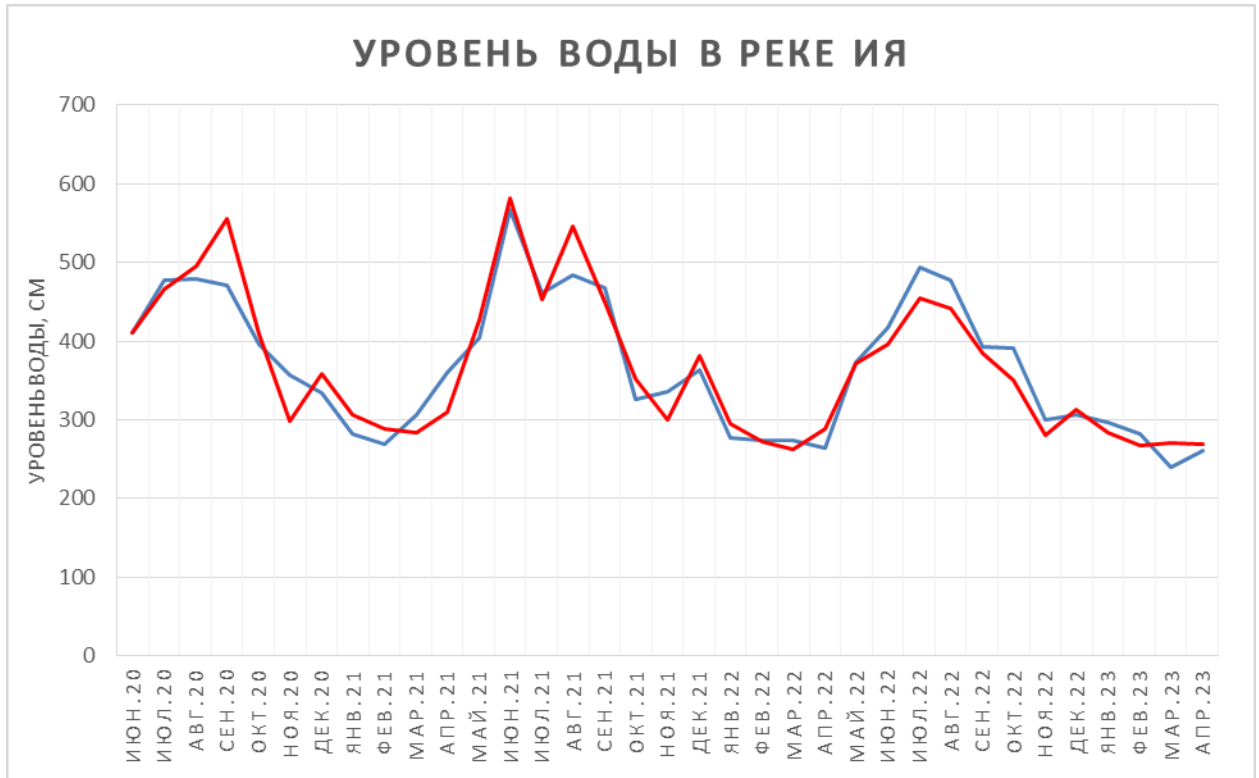


Рис.1. График сезонных изменений уровня воды в реке Ия

Проведем сопоставительный анализ значимости (вкладов) предикторных переменных, воспользовавшись значениями критерия Стьюдента для ее параметров (см., например, работы [22 - 24]).

В результате такого анализа модели, упорядочим независимые переменные по убыванию значимости следующим образом:

$$x_{t-5}^5 \succ x_{t-3}^5 \succ x_{t-5}^6 \succ x_{t-1}^6 \succ x_t^2 \succ x_{t-4}^3 \succ x_{t-4}^2 \succ x_{t-2}^2 \succ x_{t-2}^6 \succ x_t^1$$

Здесь \succ - отношение строгого доминирования.

Наиболее значимой переменной, оказывающей самое существенное влияние на выходной фактор, являются x_{t-5}^5 и x_{t-3}^5 т.е. глубина снежного покрова в Саянах пять и три месяца назад по отношению к данному периоду.

Вторым по значимости является фактор x_{t-5}^6 и x_{t-1}^6 - среднее атмосферное давление пять и один месяц ранее. Следующий по значимости вклад вносит фактор дневной и ночной температуры за один и четыре месяца до рассматриваемого события. Малозначительный вклад вносит фактор x_{t-2}^6 - среднее атмосферное давление за 2 месяца до текущего.

Таким образом, самый значимый природный фактор, влияющий на текущий уровень воды в реке - это глубина снежного покрова пять и три месяца назад, а самый незначимый – количество дней с осадками за месяц до наблюдения.

Средняя дневная температура, по результатам анализа модели, оказывает влияние в текущем месяце и четыре месяца назад.

Количество дней с осадками в существенной степени имеет влияние только за текущий месяц, что подтверждается всеми метеопрогнозами. Выпадение осадков сразу влияет на уровень вод в водоемах как рек, так и озер и морей.

Количество осадков за месяц, в данной математической модели по значимости было исключено, что в некоторой степени объясняется основным источником воды в реке Ия — снежные массы горного массива и грунтовые воды прибрежных районов.

Также уровень снежного покрова не может влиять на уровень воды без задержки в связи с тем, что для попадания в реку снег, во-первых, должен растаять, а, во-вторых, постепенно изменить уровень грунтовых вод, что, в свою очередь, сказывается на повышении уровня воды в реке. Таким образом, коэффициенты с задержкой 3 и 5 месяцев влияют в большей степени.

Вывод

Согласно всем полученным коэффициентам и значениям критериев адекватности, данная модель позволяет с высокой точностью осуществлять прогнозирование искомой величины, а именно - уровня воды реке Ия. Модель позволяет использовать легкодоступные значения метеорологических параметров для прогноза стихийных повышений уровня рек в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций, материальных и человеческих жертв среди населения.

Предложенная модель может использоваться для любых рек после соответствующих корректив, посредством обработки статистической информации, что будет рассмотрено в следующих статьях.

Литература

1. Мартиросян А. В., Кухарова Т. В. Исследование особенностей связи гидрогеологических объектов // IV Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2021). Сборник докладов. 2021. с.76-80.
2. Дьяконова Т. А., Писарев А. В., Хоперсков А. В., Храпов С. С. Математическая модель динамики поверхностных вод // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 1, Мат. Физ. 2014. № 1. – 11 с.
3. Комилов, Ф. С. Компьютерное моделирование экосистем водохранилищ // Типография Института предпринимательства и сервиса, 2010. – 240 с.
4. Фёдоров, Г. А., Кареева, Е. Д. Математическое моделирование изменения водного режима реки Ангары в результате завершения строительства Ангарского каскада ГЭС // Международная школа-конференция «Социально-экологические проблемы природопользования в Центральной Сибири», 2008. URL: elibrary.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/8496/FedorovGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

5. Беликов В. В., Алексюк А. И. Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики. Москва: Российская академия наук, 2020. – 346 с.

6. Дьяконова Т. А. Математическое обеспечение для численного моделирования динамики поверхностных вод на неоднородном рельефе местности: дис. канд. тех. наук: 05.13.18. Волгоград, 2018. – 168 с.

7. Солодовников Д. А., Шинкаренко С. С., Вишняков Н. В., Хаванская Н. М. Грунтовые воды речных пойм - годовая динамика и математические модели // Природные системы и ресурсы. – 2019. – Т. 9, № 2. – с. 54-63.

8. Чудаков А.А, Шумилин В.В. Зинченко Г.А. Математическое моделирование динамики затопления территории и оптимизация размещения водных систем противопожарного назначения // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. с. 457-462.

9. Голубцов В.В. Моделирование стока горных рек в условиях ограниченной информации Алматы: типография ИДЕАЛ-ИС. 2010. – 232 с.

10. Чикин А. Л., Клещенков А. В., Чикина Л. Г., Коршун А. М. Математическая модель колебаний уровня воды в рукавах дельты Дона // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2022. – Т. 1, № 7. – С. 103-107.

11. Гусев А.В., Дианский Н.А., Филатов Н.Н., Выручалкина Т.Ю. О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер // Труды карельского научного центра РАН 2016, №9. с. 3-16

12. Логачёв А.В., Логачёва О.М Карпик П.А. математическая модель зависимости уровня воды в реке Оби от сброса воды на ГЭС // Статистика и экономическое измерение. 2020. с.177-182.

13. Равшанов Н., Далиев Ш. К. Математическое моделирование изменения уровней подземных вод и концентраций соли в двухслойных средах //

Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2021. – № 2(32). – С. 94-116.

14. Журавлев С. А. Оценка изменения гидрографа стока рек под влиянием озерного регулирования с помощью методов математического моделирования // Вестник СПбГУ, 2011, серия 7. – 127 с.

15. Лариошкин В.В. Методика прогноза дождевых паводков в бассейне верхнего амура // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 2016, №11, с.105-115

16. Ботвинков А.В., Голышев Н.В. Расчёт водного потока распределённого по рукавам в многорукавных участках рек // Инженерный вестник Дона. 2019. №5 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5971

17. Моторин С.В., Ботвинков А.В., Голышев Д.Н. Методика численного расчета водного потока на многоузловых участках рек // Инженерный вестник Дона. 2023. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8238

18. S.I. Abba, Sinan Jasim Hadi, Jazuli Abdullahi River water modelling prediction using multi-linear regression, artificial neural network, and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. // Procedia Computer Science Volume. 120, 2017, Pp 75-82.

19. Zhi Yuan, Jingxian Liu, Yi Liu, Qian Zhang, Yue Li, Zongzhi Li., A two-stage modelling method for multi-station daily water level prediction. Environmental Modelling & Software, Volume 156, October 2022, 105468.

20. Уровень воды в Ие (г. Тулун) на сегодня. URL: allrivers.info/gauge/iyatulun/waterlevel

21. Архив погоды в Тулуне (Иркутская область, Россия). URL: pogodaiklimat.ru/weather.php?id=30504

22. Носков С.И., Удилов В.П. Управление системой обеспечения пожарной безопасности на региональном уровне. Иркутск: ИрГУПС, 2003. -152 с.



23. Носков С.И., Подушко В.Г., Удилов В.П. Газификация сельской местности: целевое программирование пожарной безопасности. - Иркутск: ИрГТУ, 2001. - 150 с.

24. Носков С.И., Кириллова Т.К. Математическая модель взаимовлияния факторов экономического развития территории // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 6-4. - С. 892-894.

References

1. Martirosjan A. V., Kuharova T. V. IV Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija po pro-blemam upravlenija v tehniceskikh sistemah (PUTS-2021). Sbornik dokladov. 2021. pp. 76-80.

2. D'jakonova T. A., Pisarev A.V., Hoperskov A. V., Hrapov S. S. Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 1, Mat. Fiz. 2014. № 1, 11 p.

3. Komilov F. S. Tipografija Instituta predprinimatel'stva i servisa, 2010. 240 p.

4. Fjodorov, G. A., Karepova, E. D. Matematicheskoe modelirovanie izmenenija vodnogo rezhima reki Angary v rezul'tate zavershenija stroitel'stva Angarskogo kaskada GJeS Mezhdunarodnaja shkola-konferencija «Cocial'no-jekologicheskie problemy prirodopol'zovanija v Central'noj Sibiri» [Mathematical modeling of changes in the water regime of the Angara River as a result of the completion of the construction of the Angara cascade of hydroelectric power stations], 2008. URL: elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/8496/FedorovGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

5. Belikov V. V., Aleksjuk A. I. Modeli melkoj vody v zadachah rečnoj gidrodinamiki [Models of shallow water in problems of river hydrodynamics]. Moskva: Rossijskaja akademija nauk, 2020, 346 p.

6. D'jakonova T. A. Matematicheskoe obespechenie dlja chislenno-go modelirovanija dinamiki poverhnostnyh vod na neodnorodnom rel'efe mestnosti



[Mathematical software for numerical modeling of surface water dynamics on heterogeneous terrain]: PHD: 05.13.18. volgograd, 2018, 168 p.

7. Solodovnikov D. A., Shinkarenko S. S., Vishnjakov N. V., Havanskaja N. M. Prirodnye sistemy i resursy. 2019. T. 9, № 2. pp. 54-63.

8. Chudakov A.A, Shumilin V.V. Zinchenko G.A. Problemy obespechenija bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij 2015, pp.457-462.

9. Golubcov V.V. Modelirovanie stoka gornyh rek v uslovijah ogranichennoj informacii Almaty[Modeling of mountain river flow in conditions of limited information Almaty]: tipografija IDEAL-IS 2010, 232 p.

10. Chikin A. L., Kleshhenkov A. V., Chikina L. G., Korshun A. M. Jekologija. Jeko-nomika. Informatika. Serija: Sistemnyj analiz i modelirovanie jekonomi-cheskih i jekologicheskikh sistem. 2022. T. 1, № 7. pp. 103-107.

11. Gusev A.V., Dianskij N.A., Filatov N.N., Trudy karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2016. №9. pp. 3-16.

12. Logachjov A.V., Logachjova O.M Karpik P.A. Statistika i jekonomi-cheskoe izmerenie 2020. pp. 177-182.

13. Ravshanov N., Daliev Sh. K. Pro-blemy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki. 2021. № 2(32). pp. 94-116.

14. Zhuravlev S. A. Vestnik SPbG, 2011, seria 7. 127 p.

15. Larioshkin V.V. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhini-ring georesursov 2016. №11. pp. 105-115.

16. Botvinkov A.V., Golyshev N.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5971

17. Motorin S.V., Botvinkov A.V., Golyshev D.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8238

18. S.I. Abba, Sinan Jasim Hadi, Jazuli Abdullahi Procedia Computer Science Volume. 120, 2017, Pp. 75-82



19. Zhi Yuan, Jingxian Liu, Yi Liu, Qian Zhang, Yue Li, Zongzhi Li., A two-stage modelling method for multi-station daily water level prediction. *Environmental Modelling & Software*, Volume 156, October 2022, 105468.

20. Uroven' vody v Ia (g Tulun) na segodnya [Water Ia river Tulun city for today]. URL: allrivers.info/gauge/iya-tulun/waterlevel

21. Archiv pogody v Tulune (Irkutskaya oblast', Rossia). [Weather archive in Tulun, Irkutsk district, Russia]: URL: pogodaiklimat.ru/weather.php?id=30504

22. Noskov S.I., Udilov V.P. Upravlenie sistemoy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti na regional'nom urovne [Management of the fire safety system at the regional level]. Irkutsk: IrGUPS, 2003. 152 p.

23. Noskov S.I., Podushko V.G., Udilov V.P. Gazifikatsiya sel'skoy mestnosti: tselevoe programmirovaniye pozharnoy bezopasnosti [Gasification of rural areas: targeted fire safety programming]. Irkutsk: IrGTU, 2001. 150 p.

24. Noskov S.I. Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 6-4. pp. 892-894.