

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

ОАО «РУСГИДРО»

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ им. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

СЕВЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОСЛУЖБЫ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ТРУДЫ

III ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЛЕДОВЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РОССИИ»



**6-11 июня 2011 г.,
г. Онега Архангельской обл., Россия**

Т 78 Труды III Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», г. Онега Архангельской обл., Россия 6-11 июня 2011 г., Институт водных проблем РАН, М.; 2011. - 408 стр

В сборник включены доклады III Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России». Основная задача конференции – представление и обсуждение наиболее важных и значимых результатов исследований в области ледовых и термических процессов на водных объектах России, полученных в последние четыре года, определение приоритетных направлений исследований в ближайшие годы и их координация.

Сборник подготовлен к печати сотрудниками лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики ИЗП РАН О.Я. Масликовой, И.И. Грицуком. Г.А. Самипским и издан при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-05-06039-г).

ISBN 978-5-209-03728-6

ББК 26.222.5

© Коллектив авторов, 2011

© Московский государственный университет природообустройства, Издательство, 2011

Секция 1 «Прогнозирование ледовых явлений в бьефах ГЭС»	11
<i>Атавин А.А., Зиповьев А.Т., Кудинин А.В.</i> ГИДРО- И ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ	13
<i>Багин А.В., Козлов Д.В.</i> ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕДОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ИЗ ГАБИОНОВ	18
<i>Бакановичус Н.С., Шаталина И.Н.</i> ПРОГНОЗ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО БЬЕФА ГИДРОУЗЛА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВРЕМЕННОЙ И ПОСТОЯННОЙ ОТМЕТКАХ ШЛУ	23
<i>Беликов В.В., Котеров В.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОСЪБОРА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В ЗИМНИЙ ПЕРИОД	24
<i>Бузин В.А.</i> ПРОГНОЗ ВНУТРИВОДНОГО ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В РЕКАХ И НИЖНИХ БЬЕФАХ ГЭС	32
<i>Генова С.Н., Белолипецкий В.М.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛЕДОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА Р. АНГАРА В СЛУЧАЕ ВОЗВЕДЕНИЯ МОТЫГИНСКОЙ ГЭС	40
<i>Затицкий Р.Б., Бакановичус Н.С., Шаталина И.Н.</i> ПРОГНОЗ ЛЕДОВОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ВЕРХНЕГО БЬЕФА ГИДРОУЗЛА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ШЛУ 185 м БС и 208 м БС	48
<i>Никифоровская В.С.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ ГИДРОТЕРМИКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ	50
<i>Савельев К.Л.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОСЛИВНЫХ ПЛОТИН НА ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА В ВЕРХНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОУЗЛА	56
<i>Чигаров А.Е., Шаталина И.Н., Бакановичус Н.С.</i> ОЦЕНКА БРЫЗГОВОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ НА СООРУЖЕНИЯХ ГИДРОУЗЛА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВОДОСЪБОРОВ №1 и №2	63

9. Музылев С.В. Краевые волны подо льдом у прямолинейного берега с наклонным дном // *Океанология*. 2006. Т. 46, №4, с. 500-506.
10. Музылев С.В. Внутренние волны под ледяным покровом // *Докл. РАН*. 2008. Т.418. №3. С.397-400.
11. Музылев С.В., Олейникова Л.Н. К теории внутренних волн под ледяным покровом // *Океанология*. 2007. Т. 47. №2. С.191-196.
12. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. / Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 816 с.
13. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях / Под ред. Лавренова И.В. и Морозова Е.Г. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 264 с.
14. Смирнов В.Н. Динамические процессы в морских льдах. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 162 с.
15. Смирнов В.Н. Колебания ледяного покрова, обусловленные внутренними волнами ледовитого океана // *Докл. АН СССР*. 1972. Т. 206. №5. С. 1106-1108.
16. Смирнов В.Н., Савченко В.Г. О свободных внутренних волнах в море, покрытом льдом // *Тр. ААНИИ*. 1972. Т. 306. С. 108-122.
17. Смирнов В.Н., Шушлебин А.Н., Коростелев В.Г. Результаты натурных измерений параметров поверхностных и внутренних волн в Северном Ледовитом океане и Охотском море // В книге: Поверхностные и внутренние волны в арктических морях / Под ред. Лавренова И.В., Морозова Е.Г. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. С. 280-297.
18. Тимохов Л.А., Хейсин Д.Е. Динамика морских льдов (математические модели). Л.: Гидрометеиздат, 1987. 272 с.
19. Хейсин Д.Е. Динамика ледяного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 216 с.
20. Czipott P.V., Levine M.D., Paulson C.A., Menemenlis D., Farmer D.M., Williams R.G. Ice flexure forced by internal wave packets in the Arctic Ocean // *Science*. 1991. V. 254. № 5033. P. 832-835.
21. Greenhill A.G. Wave motion in hydrodynamics // *Amer. J. Math.* 1887. V. 9. P. 62-112.
22. Liu A.K., Mollo-Christensen E. Wave propagation in a solid ice pack // *J. Phys. Oceanogr.* 1988. V. 18. № 11. P. 1702-1712.
23. Pedlosky J. *Waves in the Ocean and Atmosphere*. Springer, 2003. 264 p.
24. Squire V.A. Of ocean waves and sea-ice revisited // *Cold Regions Science and Technology*. 2007. V. 49. P. 110-133.
25. Squire V.A., Dugan J.P., Wadhams P., Rottier P.J., Liu A.K. Of ocean waves and sea ice // *Ann. Rev. Fluid Mech.* 1995. V. 27. P. 115-168.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА И ПРОЦЕССОВ ЗАТОРООБРАЗОВАНИЯ НА РЕКЕ ТОМЬ

Н.Л. Фролова*, С.А. Агафонова*, С.Н. Рулева*, В.В. Сурков*,
В.А. Жук*, В.А. Широкова**

*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

**ИИЕиТ имени С.И.Вавилова РАН, Москва, Россия

e-mail: frolova_nl@mail.ru

Река Томь является одной из основных водных артерий Томской области, по которой она протекает на протяжении почти 120 км. Для реки Томь характерно изменение по длине уклонов продольного профиля, смена морфодинамических типов русла, направленности и темпов русловых деформаций. Кроме того, русло р. Томи подвержено интенсивной антропогенной нагрузке. С начала второй половины XX века из русла реки ежегодно безвозвратно извлекалось до 5 млн. м³ песчано-гравийного материала, что во много раз превышало сток влекомых наносов. Значительному росту объемов землечерпания также способствовали требования по увеличению габаритов судоходной трассы [1]. В результате это привело к посадке уровней воды в районе г. Томска на 2,5 м, изменению параметров русла, уничтожению крупных форм руслового рельефа (перекатов, островов), разрушению набережной р. Ушайки, образованию участка поймы у набережной р. Томи в центре города, образованию порога на выходе скальных грунтов у Лагерного сада. На верхнем участке нижней Томи (выше г. Томска) развивалась регрессивная эрозия, обязавшая своим возникновением быстрой посадке уровней в карьерах. Резкое увеличение уклона прослеживается в начале 60-х гг. прошлого столетия непосредственно выше Томска. В результате в течение одного десятилетия был смыт значительный слой аллювия, и обнажился скальный порог (73–75 км от устья). До начала карьерных разработок точка перегиба находилась в районе 62 км (остров Энеков), где уклоны уменьшались с 0,15–0,17‰ до 0,064‰. К настоящему времени она сместилась к 72 км (непосредственно ниже коммунального моста). Карьерные выработки уменьшили уклон русла ниже по течению до 0,01–0,06‰, выше, на скальном пороге (73–74 км) он составляет 0,66–0,8‰, т.е. больше на порядок. В 1985 г. работы по русловой добыче ПМ непосредственно у г. Томска были свернуты.

В последующие годы на значительной части р. Томь в пределах Томской области произошла определенная стабилизация русловых процессов. Непосредственно в г. Томске, ниже по течению от старого коммунального моста в левой части русла, наблюдается аккумуляция

речных наносов. В результате изменились и без того сложные условия ледохода, что увеличило в последние годы вероятность заторообразования (рис. 1). В конце 1990-х стали отмечаться случаи заметного повышения уровней воды весной, не наблюдавшиеся около 40 лет, а весной 2004 г. впервые за несколько десятилетий произошло затопление левобережной части долины р. Томь. При этом в зону затопления попал поселок Черная Речка и ряд других населенных пунктов. В последнее десятилетие наводнения на р. Томь, связанные с образованием ледовых заторов, наблюдались в 2004 г. с затоплением с. Черная Речка, в 2007 г. с затоплением автодороги Томск-Ярское [5].

Стечение крайне неблагоприятных метеорологических условий (осенний ледоход 2009 г., вызвавший образование торосов, образование исключительно мощного ледяного покрова зимой 2009–2010 г, резкое потепление весной 2010 г. и т.п.) – вызвало формирование затора в наиболее «узком» месте (Сенной – Ниж. Сенной пережат) (рис. 2). На нём к этому времени также возникла цепь негативных явлений – обмеление, формирование массивных надводных побочней, узкое и «неудачно расположенное» по отношению к пойменному потоку корыто, блокирование насыпями слива воды с поймы.

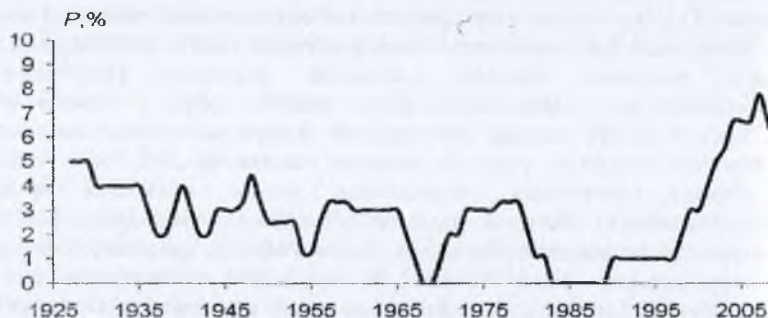


Рис. 1. Изменение повторяемости заторов на р. Томь в районе г. Томск по скользящим десятилетиям

В условиях циклического повышения водности реки такие явления будут возникать всё чаще; этому способствует и своеобразный рельеф русла с чередованием глубоких карьерных выемок с почти застойной водой (здесь отмечается максимальная, до 6 м, толщина льда) и мелководных пережатов, на которых происходит торошение льда. В ноябре 2009 г. на р. Томь наблюдался осенне-зимний паводок. Причинами его возникновения Западно-Сибирское управление гидрометеослужбы (<http://www.meteo-nsu.ru>) считает следующее. В

период 3–4 ноября на юге Кемеровской области среднесуточные температуры воздуха были положительными, выше нормы этих дней на 6–8°C, что способствовало частичному сходу снежного покрова, установившегося в середине октября (его высота уменьшилась на 9–14 см). При этом в верховьях бассейна р. Томь выпали осадки в жидком виде, в верховьях р. Томь и на её притоках наблюдались значительные подъёмы уровней воды (18–265 см в сутки) за счёт одновременного поступления дождевых и талых вод в русла рек. В последней пятидневке октября на юго-востоке Томской области наблюдались отрицательные среднесуточные температуры воздуха от минус 8 до минус 12°C. Эти показатели ниже нормы этих дней на 6–8°C. На р. Томь с притоками происходило ледообразование. В итоге 5 ноября в районе г. Томск установился ледостав. Сформировавшаяся в начале ноября в верховьях реки паводковая волна высотой около 6 м по мере прохождения вызвала подвижки и разрушение ледяного покрова с образованием затора льда в районе г. Томск, который явился причиной резкого подъёма уровней воды с интенсивностью 255 см в сутки. Река вскрылась спустя 3 дня после установления ледостава, при этом толщина льда достигала уже 0,2–0,3 м. Наблюдавшийся осенний ледоход с образованием заторов льда привел к загромождению битым льдом русла Томи на всем протяжении рассматриваемого участка – от границы с Кемеровской областью до нового моста г. Томска [5]. 10 ноября на р. Томь в г. омске был зафиксирован самый высокий уровень воды для ноября за период наблюдений 1963–2009 гг. – 625 см, его повторяемость составляет 1 раз в 90 лет. На остальных участках р. Томь и её притоках (р. Кондома, р. Мрас-Су) так же наблюдались экстремально высокие для ноября уровни воды (284–574 см) повторяемостью 1 раз в 125–200 лет. Сохранение низких среднесуточных температур воздуха (минус 16 – минус 18°C) в период 10–14 ноября способствовало дальнейшему образованию ледостава с торосами. Ледостав установился при очень высоких уровнях воды. Данный тип замерзания р. Томи, так называемый «чешуйчатый» (по определению томского гидролога Я.И. Марусенко [3]), наблюдался неоднократно в конце XIX и до середины XX столетия. В последующие годы систематические специальные наблюдения и исследования ледового режима р. Томи не проводились. «Чешуйчатый» тип замерзания р. Томи является предвестником мощных весенних заторов и связанных с ними наводнений, так как на осенние заторы впоследствии накладываются весенние (рис. 2).

Ледовые заторы – характерная особенность ледового режима нижней Томи в пределах Томской области, приводящие, нередко, к катастрофическим наводнениям. Многолетняя повторяемость образования заторов в период весеннего ледохода – 1 раз в 5 лет.

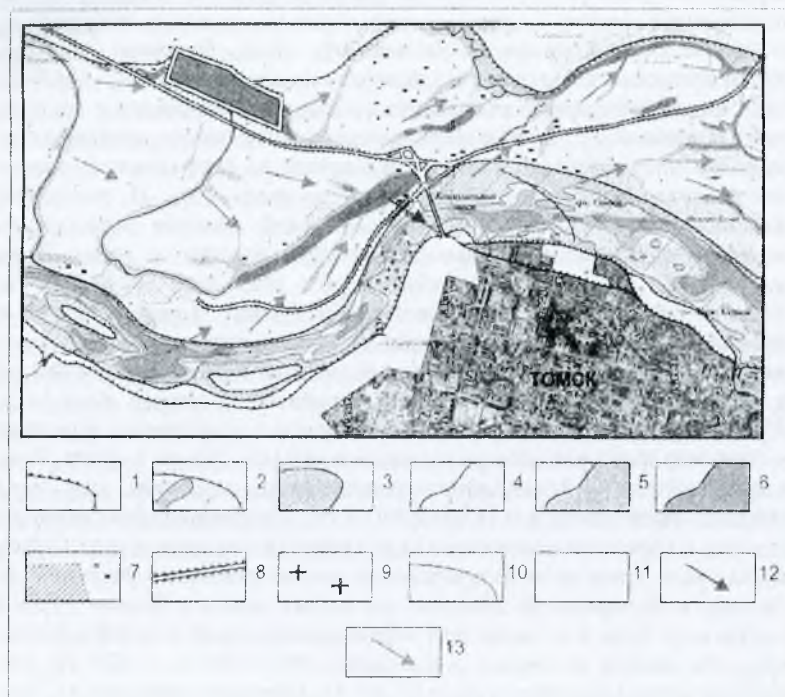


Рис. 2. Сенные перекаты и затор 2010 г. (схема выполнена Сурковым В.В.)

1- коренные берега, 2 – поймы, основные ложбины, 3 – надводные части побочней, 4 – отмели с глубинами менее 1 м, 5 – участки русла с глубинами 1-2,5 м, 6 – плёсовые лоцины с глубинами более 2,5 м, 7 – посёлки, отдельные строения, 8 – дамбы и дорожные насыпи, 9 – скальный порог, 10 – участок затора 2010 г, 11 – зона затопления, 12 – прорыв дорожной насыпи, 13 – направление потока половодья при естественном режиме реки, отсутствии дамб и насыпей

Продолжительность затора изменяется от первых часов до 10 суток. К факторам формирования заторов относятся: 1) достаточно суровый климат (с большой суммой отрицательных температур в холодное время года); 2) значительная толщина льда (при максимальных значениях до 1,2 м); 3) особенности вскрытия реки в весенний период; 4) морфологические особенности русла (разделение на рукава и протоки, изгибы русла, чередование расширений и сужений, наличие мелководных участков – перекатов), специфика изменения уклонов по

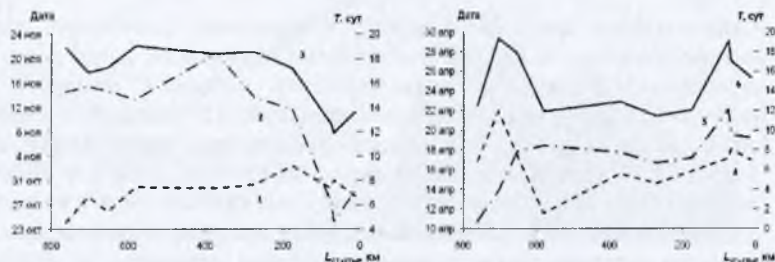
длине реки и ряд других. При этом морфологические и морфодинамические характеристики русла нередко являются основной причиной формирования заторов, способствующие возникновению новых мест их возникновения (например, у острова Энекова). Так как основное направление течения р. Томь – с юга на север, среднее течение вскрывается раньше нижнего течения, а нижнее течение вскрывается раньше р. Обь на участке впадения р. Томь (рис. 3). Заторы образуются практически ежегодно в начале половодья.

Существующая сеть наблюдений не позволяет достаточно полно охарактеризовать изменение повторяемости заторов по длине реки. По данным наблюдений на гидрологических постах, а также по [2] наибольшая повторяемость заторов характерна для нижнего течения от г. Подомошное до г. Томск. Средняя продолжительность заторов на р. Томь – до 3-х дней, средний подъем уровня воды – до 3 м. Важной особенностью разрушения заторов на р. Томь является то, что вода идет в обход навалов льда. Оставшийся в русле лед разрушается на месте и ниже по течению объем ледового материала снижается, а значит и снижается вероятность образования мощных заторов. Таким образом, мощность и количество заторов, а также их расположение меняется от года к году. Чем больше объем ледового материала в бассейне, тем выше по течению образуется крупный затор. В годы с малым объемом льда затор образуется только в устье р. Томь. Характер вскрытия и его изменение от года к году также зависит от соотношения динамических и тепловых факторов в период вскрытия. Динамические факторы (волна половодья) определяются погодными условиями в верховьях бассейна. Под действием тепловых факторов происходит потеря прочности ледяного покрова. В нижнем течении р. Томь вскрытие нередко происходит на фоне отрицательных температур воздуха, до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C. Для р. Томь в районе г. Томск характерны две волны половодья и примерно в половине случаев максимальный годовой уровень воды наблюдается после очищения реки ото льда. Максимальные заторные уровни редко совпадают с максимальными годовыми, негативные последствия образования заторов на этом участке связаны не только с резким подъемом уровня воды, но и прежде всего с воздействием льда.

В ходе наводнения на р. Томь у г. Томска 29 апреля 2010 г. в южной части города («Гидроствор») уровень воды почти на 2 метра превысил критическую отметку. В зоне подтопления оказался пригородный поселок Черная речка: (270 жилых домов, 1102 жителя).

По оценкам местных гидрологов ледовзрывные работы в черте Томска 29 апреля привели к уплотнению затора и скачкообразному подъему

уровня воды в «хвосте» затора. Предупредительные работы (подрывы льда) весной 2010 г. проводились по всему среднему и нижнему течению р. Томи в Кемеровской и Томской областях. Они ускорили сроки начала процесса вскрытия р. Томь. По этой причине прочность речного льда во время преждевременно начавшегося ледохода была недостаточно ослаблена под влиянием естественных причин (весеннее потепление и прямая солнечная радиация).



а) период замерзания

б) период вскрытия

Рис. 3. Изменение характеристик ледового режима р. Томь по длине: 1 – дата появления льда; 2 – продолжительность осеннего ледохода и ицугохода; 3 – дата установления ледостава; 4 – дата вскрытия; 5 – продолжительность весеннего ледохода; 6 – дата очищения ото льда

Таким образом, в последние годы намечаются некоторые тенденции изменения ледового и водного режимов рек рассматриваемого региона, в том числе и для р. Томь. Например, наблюдается более раннее вскрытие, на некоторых участках растет частота образования заторов (рис. 4). Изменение дат осенних ледовых явлений не наблюдается, что согласуется с метеорологическими характеристиками, в том числе с датами устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C (весна наступает раньше, сроки начала зимнего периода не изменились). Однако, некоторые авторы отмечают тенденцию увеличения степени опасности ледового режима в последние годы [4] за счет роста повторяемости наводнений, обусловленных заторами. Факторами, приводящими к росту заторных уровней воды, являются, прежде всего, жидкие осадки в период вскрытия реки (2004 г) и осенние заторы (2010 г).

Работа выполнена в рамках государственного контракта с Верхне-Обским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов.

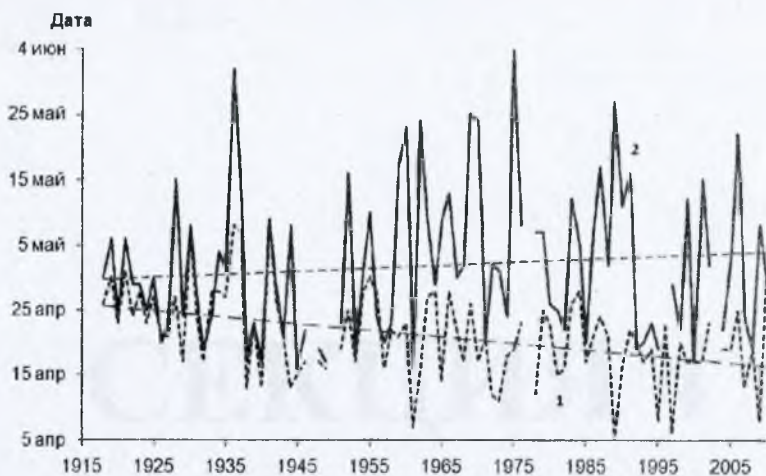


Рис. 4. Изменение дат вскрытия (1) и дат наступления максимального годового уровня воды (2) на р. Томь в районе г. Томск за период 1918 - 2010 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000.
2. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Т. 2. Л.: Гидрометеониздат, 1976.
3. Марусенко Я.И. Ледовый режим рек бассейна Томи. Издательство ТГУ, 1958.
4. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск: Издательство ТПУ, 2010.
5. <http://www.tgm.ru>