

Гидротехническое строительство

УДК 502/504:551.322

Д. В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

Н. Л. ФРОЛОВА, С. А. АГАФОНОВА

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

К. Л. САВЕЛЬЕВ

ОАО «Институт Гидропроект»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРЕСНОВОДНОГО ЛЬДА, ЕГО РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЙ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СУШИ

Приводится краткое описание современных методов эмпирического изучения пресноводного льда в водных объектах суши. Особое внимание уделено исследованию пресноводного льда, его различных состояний (в том числе изучению ледового режима рек) с помощью космических снимков. Показаны преимущества использования современных оптических и радиолокационных данных спутников для изучения пресноводного льда, его различных состояний и ледовых процессов по сравнению с авиаразведкой и наземными наблюдениями.

Пресноводный лед, водоем, метод, наблюдения, дистанционное зондирование Земли, космический снимок, затор, зимнее наводнение.

There is given a brief description of modern methods of empirical studying of freshwater ice in water bodies of land. Special attention is paid to investigation of freshwater ice, its different states (including studying of rivers ice regime) by means of space photographs. There are shown advantages of using optical and radar data from satellites for exploration of freshwater ice, its different conditions and ice processes in comparison with air reconnaissance and surface observations.

Freshwater ice, basin, method, observations, remote sensing of Earth, space photo, jam, winter flooding.

К числу основных инженерных наук о ледовых системах водных объектов суши в первую очередь относятся ледотехника, гидроледотермика и ледовая гидравлика, которые в последние десятилетия развивались главным образом в связи потребностями гидротехнического и транспортного строительства. В настоящее время, когда наши знания о земных геосистемах и влиянии на них хозяйственной деятельности человека становятся более обширными и разнообразными, когда в

науку активно внедряются уникальные по своим возможностям информационные и космические технологии, гидроледотермика, ледотехника и ледовая гидравлика как самостоятельные науки характеризуются сменой парадигм. Смена парадигм должна сопровождаться и сменой методологии.

Методология (в прикладном смысле) – это система принципов и методов исследовательской деятельности, на которые опирается ученый в ходе получения и

разработки знаний в рамках конкретной дисциплины, например гидроледотермики, ледотехники и ледовой гидравлики, или разделов наук, например о ледовых системах водных объектов суши.

Современная методология изучения пресноводного льда позволяет получать новые научные и экологические данные о состоянии пресноводного льда в природных и природно-технических системах водных объектов России, в том числе с учетом антропогенного воздействия на водные объекты и изменения климата.

С этой точки зрения можно выделить три основные группы общенаучных методов исследования ледовых систем водных объектов.

Методы эмпирического исследования: наблюдение, эксперимент, сравнение, описание и измерение. В процессе *наблюдения*, как целенаправленного пассивного изучения предметов, получают знания не только о внешних сторонах объекта познания, но и о его существенных свойствах и отношениях. Наблюдение может быть непосредственным (визуальные наблюдения за ледовыми процессами (ледоходом, шугоходом, формами льда и т. д.) и опосредованным (с помощью приборов и технических устройств). Наблюдения за ледовыми системами водных объектов могут быть организованы в процессе натурных (полевых) исследований, в том числе стандартных и специализированных экспедиционных. В настоящее время в науках о природных системах широко применяются дистанционные исследования (наблюдения) с использованием аэрофотосъемки, космосъемки и т. п. *Эксперимент* – это активное и целенаправленное вмешательство в протекание изучаемого процесса, соответствующее изменение исследуемого объекта или его воспроизведение в специально созданных и контролируемых условиях, определяемых целями эксперимента. *Сравнение* – познавательная операция, выявляющая сходство или различие объектов (либо ступеней развития одного и того же объекта), т. е. устанавливающая их тождество и различия. В изучении ледовых систем водных объектов такая операция применяется при исследованиях годового термического цикла водоемов (например, при выявлении его периодов и фаз), а также при анализе форм льда и его состоя-

ний в водных объектах. Сравнение является основой такого исследовательского подхода, как сравнительный гидролого-географический (или географический) анализ, который широко используют при изучении процессов формирования и развития пресноводного льда водоемов и водотоков, закономерностей формирования наводнений, обусловленных заторами (зажорами) льда и т. д. *Описание* – познавательная операция, состоящая в фиксировании результатов наблюдения или эксперимента с помощью определенных систем обозначения, принятых в науке. *Измерение* – это совокупность действий, выполняемых при помощи определенных средств (инструментов, приборов и т. п.) с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения.

Методы теоретического познания: формализация, аксиоматический и гипотетико-дедуктивный.

Общелогические методы и приемы исследования: анализ, абстрагирование, обобщение, индукция и дедукция, аналогия, моделирование (в том числе математическое, численное), системный подход и структурно-функциональный (структурный) метод, вероятностно-статистический метод – применяются во всех науках, но обязательно с учетом особенностей предмета каждой науки или научной дисциплины и специфики познания природных явлений.

Система изучения пресноводного льда, наблюдений за опасными ледовыми явлениями и процессами работает на сети постоянно действующих и временных постов. Для оценки опасности ледового режима и прогноза развития опасных ледовых явлений, преимущественно в период вскрытия водных объектов, используются данные рекогносцировочных обследований, авиаразведки и космической съемки.

Систематическое изучение пресноводного льда на реках России на постоянно действующей сети постов началось в 80-е годы XIX века. К этому периоду относятся также первые карты характеристик ледового режима, составленные М. А. Рыкачевым, а затем уточненные В. Б. Шостаковичем. Сегодня государственная наблюдательная сеть включает 3084 гидрологических поста, 2729 из них –

речные [1].

Стандартные наблюдения за ледовым режимом рек на сети постоянно действующих постов включают [2]:

ежедневные визуальные наблюдения за ледовой обстановкой и состоянием ледяного покрова, а также измерение толщины льда, шуги и снега на льду;

в период замерзания в пункте наблюдения определение даты появления льда, видов (форм и типов) ледяных образований и ледовых явлений, степени покрытия реки льдом, ширины заберегов, наличия внутриводного льда, характеристики ледохода и шугохода (продолжительность, степень покрытия реки льдом или шугой, толщина льдин, скорость их движения);

в период ледостава фиксирование даты установления ледостава, состояния и характера ледового покрова, толщины льда, деформации ледового покрова (трещины, навалы льда, полыньи), даты образования наледей, сроков промерзания реки;

в период вскрытия установка даты появления талой воды на льду, даты схода снега со льда, наличия закраин, подвижек и разводий, даты вскрытия, характеристики весеннего ледохода, даты очищения реки ото льда [3];

на участках вероятного образования заторов создание временных постов, которые позволяют определить продольный профиль водной поверхности при заторе, динамику его развития и разрушения.

Кроме стандартной программы изучения пресноводного льда, его различных состояний, проводят дополнительные исследования:

рекогносцировочные обследования и ледемерные съемки с целью выявления мест торошения льда, зажорных скоплений, участков с аномальными значениями толщины льда;

авианаблюдения и аэрофотосъемку, которые могут совмещаться с наземными маршрутными обследованиями. В период образования заторов и зажоров авиаобследования проводятся с частотой 1–2 сут, а в исключительных случаях и дважды в сутки. Анализ материалов аэрофотосъемок позволяет установить наличие цепочки заторов, ее размеры, охарактеризовать особенности перераспределения стока льда по рукавам, размеры зон напряжен-

ного состояния скопления льда, его строение [4, 5];

космическую съемку. Данные дистанционного зондирования Земли последние годы все чаще используются для мониторинга ледовой обстановки на больших реках в период весеннего половодья и вскрытия рек (рис. 1) [6].

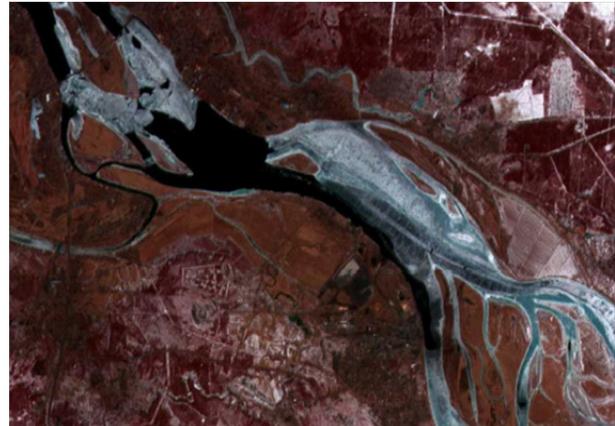


Рис. 1. Ледовый затор у моста перед Архангельском. Видна полынья с открытой водой (темный цвет) (URL: <http://www.scanex.ru>)

Космические снимки позволяют оценить состояние льда, наличие ледовых заторов, динамику развития ледохода, площадь затопления территории и результаты противозаторных мероприятий.

Исследования пресноводного льда, его различных состояний (в том числе изучение ледового режима рек) с помощью космических снимков имеют сравнительно непродолжительную историю. Еще относительно недавно сфера использования данных дистанционного зондирования Земли при изучении льда на водоемах суши ограничивалась оценкой ледового режима крупных озер. Так, например, в лаборатории аэрокосмических методов ГГИ на основе снимков из космоса была создана имитационная модель ледовых явлений на Ладожском озере в весенний период [5].

Сегодня результаты дистанционного зондирования Земли используются в комплексных исследованиях различных водных объектов, в том числе для изучения пресноводного льда, его различных состояний с учетом решения задач снижения риска опасных ледовых явлений [7]. Данные дистанционного зондирования Земли обеспечивают оперативность информации об уровнях воды, получение информации для

значительных по площади территорий, накопление архива информации, а также широкий спектр решаемых на ее основе задач.

Систематические последовательные космические снимки высокого и среднего разрешения дают сведения о пространственно-временной динамике ледяных образований на озерах, реках и водохранилищах, скорости продвижения фронта вскрытия и образования ледостава на больших реках и других водных объектах (по материалам сайта ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета». – URL: <http://www.dvrcpod.ru>).

Кроме того, важным в наблюдениях за ледовыми системами водных объектов является визуальный анализ локализации различных ледовых явлений в разные периоды, главным образом это определение положения границы ледяного покрова и открытой воды, положения заторов льда в конкретные моменты времени одновременно по значительной территории. Подобные работы проводятся для крупных речных бассейнов с использованием различных электронных сервисов доступа к космическим снимкам. Так, например, в 2009–2010 годах ИТЦ «Сканэкс» провел оперативный спутниковый мониторинг ледохода в бассейне Северной Двины в интересах ГУ «Архангельский ЦГМС-Р». С помощью материалов спутниковой съемки были выявлены места образования зажоров и заторов льда, которые в дальнейшем были подтверждены данными наземных экспедиционных наблюдений. Использование данных спутникового контроля сделало информацию о состоянии льда более полной, с точной географической привязкой и возможностью сопоставления снимков, что особенно важно в оперативной практике (по материалам сайта ИТЦ «Сканэкс». – URL: <http://www.scanex.ru>).

Для наблюдения за ледовой обстановкой в последние годы широко используются радарные снимки. В условиях зимы с очень коротким световым днем и при продолжительных периодах непогоды радиолокационная съемка может быть единственной технологией для получения оперативной информации о состоянии земной поверхности [8]. Она позволяет решить задачу построения карт подвижек и толщины льда [3]. Использование радиолокационных данных высокого и среднего пространственного разрешения в комплексе с оптическими изображениями позволяет вне зависимости от погодных условий организовать слежение

за прохождением весеннего ледохода (по материалам сайта компании «Совзонд». – URL: <http://www.sovzond.ru>).

Использование современных оптических и радиолокационных данных спутников для изучения пресноводного льда, его различных состояний и ледовых процессов дает ряд преимуществ по сравнению с авиаразведкой и наземными наблюдениями [4]. Космический мониторинг с использованием технологий дистанционного зондирования Земли особо привлекателен для исследования труднодоступных районов, в первую очередь в бассейнах рек российского Севера и Сибири. Кроме того, данные космического мониторинга позволяют произвести локализацию и оценку заторов льда в период вскрытия рек. При помощи космических снимков можно выявить места, благоприятные для образования заторов. Это крутые повороты русла в сочетании с сужением реки, участки разветвления русла с малой скоростью течения, впадения крупного притока, если этот приток вскрывается раньше основной реки, различные препятствия в русле (острова, конусы выноса) и др. Нередко затор возникает в тех местах, где осенью при замерзании реки встречались зажоры, деформация льда и торошение (рис. 2) [7].

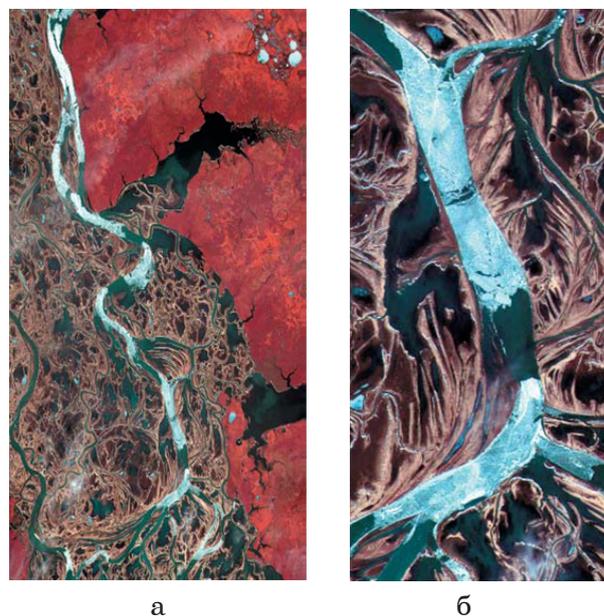


Рис. 2. Оценка ледовой обстановки на реках для прогнозирования возникновения заторов льда. Среднее течение реки Обь: а – снимок IRS-1D LISS, синтез RGB 3:2:1. Пространственное разрешение 23 м. Дата съемки: 17 мая 2003 года, ©ANTRIX, SpaceImagingInc., ИТЦ Сканэкс, 2003 год; б – увеличенный фрагмент снимка

В большей части случаев задачи исследования опасных ледовых явлений с помощью данных дистанционного зондирования Земли сводятся к двум группам:

изучение факторов формирования опасных ледовых явлений;

наблюдения за образованием и развитием опасных ледовых явлений на реках, озерах и водохранилищах, которые включают в себя получение сведений об уровнях воды, площадях затопления территорий и о ледовой обстановке.

Для решения различных задач, связанных с исследованием факторов формирования и динамики зимних наводнений и прохождения весеннего половодья, целесообразно опираться на классификатор задач, решаемых с помощью данных дистанционного зондирования Земли. Требования к данным космической съемки зависят от масштаба и специфики водного объекта. Так, например, для рек со снеговым питанием с помощью таких данных может быть выявлена степень покрытости бассейна водой в твердом виде на разных фазах формирования стока, в том числе:

доля площади бассейна, покрытая снегом (во время снеготаяния);

водность микроозер и других временных затоплений (их суммарная площадь) для внерусловой фазы стока;

водность речных русел для русловой фазы [7].

Выводы

Одним из основных методов эмпирического исследования ледовых систем водных объектов являются наблюдения, которые могут быть организованы в процессе натурных (полевых) исследований, в том числе стандартных и специализированных экспедиционных наблюдений. В настоящее время в науках о природных системах широко применяются дистанционные исследования (наблюдения) с использованием аэрофотосъемки и космической съемки, которые все шире используются в системах мониторинга ледовых явлений. Принципы совершенствования методов изучения пресноводного льда и ледовых явлений на водных объектах России включают коренную модернизацию сети гидрометеорологических наблюдений, правильную организацию системы наблюдений, в рамках которой предлагается совместить данные регулярных

постов с наблюдениями в непосредственной близости от участков водотоков с наличием заторов и зажоров льда, других ледовых явлений. Эти наблюдения необходимо выполнять, соблюдая их точность, частоту и периодичность выполнения во времени и распределения пунктов их проведения в пространстве, а также рекомендуется дополнять специальными исследованиями с использованием геоинформационных технологий, аэрофотосъемки и спутниковой информации.

Современная методология изучения ледовых систем водных объектов суши позволит получить новые научные и экологические данные о состоянии пресноводного льда в природных и природно-технических системах водных объектов России, в том числе с учетом антропогенного воздействия на водные объекты и изменения климата.

1. Алексеевский Н. И., Фролова Н. Л., Христофоров А. В. Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 367 с.

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеопиздат, 1978. – Вып. 6. – Ч. 1. – 384 с.

3. Пиетранера Л., Чезарано Л., Кантемиров Ю. Пример мониторинга ледовой обстановки и судоходства в замерзшей акватории Азовского моря и Керченском проливе (по данным COSMO-SkyMed) // Геоматика. – 2012. – № 1. – С. 72–76.

4. Лупачев Ю. В., Скрипник Е. Н., Кучейко А. А. Опыт космического мониторинга развития весеннего половодья на реке Северная Двина в 2010 году // Земля из космоса. – 2010. – Вып. 6. – С. 57–68.

5. Усачев В. Ф., Прокачева В. Г. Применение спутниковых данных для гидрологических целей: Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – С. 184–188.

6. Pavelsky T. M., Smith L. C. Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series // Remote Sensing of Environment. – 2004. – № 99(3). – P. 328–338.

7. Кравцова В. И. Космические мето-

ды картографирования; под ред. Ю. Ф. Книжникова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 240 с.

8. Изображения Земли из космоса: примеры применения. – М.: ООО Инженерно-технологический центр «Сканэкс», 2005. – 100 с.

Материал поступил в редакцию 20.06.13.

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, ректор

Тел. 8 (499) 976-29-62

E-mail: kozlovdu@mail.ru

Фролова Наталья Леонидовна, доктор

географических наук, профессор

Тел. 8 (495) 939-15-33

E-mail: frolova_nl@mail.ru

Агафонова Светлана Андреевна, кандидат географических наук, инженер

Тел. 8 (495) 939-15-33

E-mail: hydro.msu@gmail.com

Савельев Константин Леонидович, ведущий инженер

Тел. 8 (903) 541-87-92

E-mail: savelevkl@mail.ru

УДК 502/504:627.83

И. С. РУМЯНЦЕВ, НАНЬ ФЭН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природобустройства»

ОСОБЕННОСТИ ГАШЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА В НИЖНИХ БЬЕФАХ ВЫСОКОПОРОГОВЫХ БЕТОННЫХ ВОДОСБРОСНЫХ ПЛОТИН ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С НИЗОВОЙ СТУПЕНЧАТОЙ СЛИВНОЙ ГРАНЬЮ

Представлены различные конструкции водосбросов практического профиля со ступенчатой низовой сливной гранью, а также приведены новые результаты модельных гидравлических исследований таких водосбросов.

Водосброс со ступенчатой низовой сливной гранью, кинетическая энергия, водослив практического профиля.

There are presented different designs of round-crested weirs with a stepped lower spillway face as well as there are given new results of simulation hydraulic studies of such weirs.

Weir with a stepped lower spillway face, kinetic energy, round-crested weir.

По данным археологов, ступенчатые водосливные плотины строились уже в Древнем Египте более 5000 лет назад [1]. Примером может служить плотина The Barrier of Raas в 30 км от Каира, которая разрушилась во время первого же паводка из-за фильтрационных деформаций грунтов основания. Этот первый зафиксированный неудачный опыт строительства ступенчатой плотины надолго задержал прогресс плотиностроения в Египте, хотя ее конструкция удачно решала весь комплекс необходимых задач: совмещение водопропускного и водоподпорного сооружений, гашение избыточной энергии потока, автоматизацию работы, экономичность. Тем не менее такая конструкция плотин имеет относительно богатый мировой опыт при-

менения. Их строили в Древней Греции, Древнем Риме, странах Ближнего Востока, Испании, в России [2]. Повышенный интерес к ступенчатым водосливным плотинам, возникший в последние годы, связан с прогрессом в технологии их возведения.

Ступенчатой может выполняться как водосливная поверхность бетонных плотин, так и водосбросов, устраиваемых на низовом откосе грунтовых плотин. В настоящее время практически сняты ограничения в применении конструкции по высоте, значительно возросли пропускаемые удельные расходы воды (до 60 м²/с) грунтовых, ступенчатых водосливных плотин, не говоря уже о бетонных плотинах. Ступенчатая водосливная поверхность водосбросного сооружения не только эффективно гасит кинети-