

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук
Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена



ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: НАУЧНЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

**к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки,
доктора физико-математических наук,
профессора Льва Николаевича Карлина**

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т 78

Т 782

Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. – СПб.: Аграф +, 2017. – 514 с.

ISBN 978-5-9529-0085-1

В сборнике трудов представлены доклады российских и зарубежных специалистов в области метеорологии, гидрологии, океанологии, экологии, управления морской деятельностью и образования в сфере гидрометеорологии. Особое внимание уделено результатам фундаментальных исследований и их внедрению при решении прикладных проблем, в том числе при разработке технологий мониторинга Мирового океана с целью исследования и освоения его ресурсов, совершенствованию технических средств и методов прогноза гидрометеорологических процессов для управления водными ресурсами и морской деятельностью. Рассмотрены проблемы наращивания потенциала в области образования в сфере гидрометеорологии.

Для научных работников и инженеров, а также широкого круга специалистов, интересующихся гидрометеорологией и экологией. Сборник будет полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Организаторы конференции:

- Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук
- Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
- Северо-Западное Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук
- Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена

При участии:

- Государственного гидрологического института

При поддержке:

- Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга
- Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга
- Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга

Соорганизатор:

- Государственное бюджетное учреждение «Конгрессно-выставочное бюро Санкт-Петербурга»

Оператор конференции:

- ООО «Инпроэкспо»

Программный комитет конференции: Ашик И.М. (ААНИИ), Бобылев Л.П.(ФОНД "НАНСЕН-ЦЕНТР"), Ерёмкина Т.Р.(РГГМУ), Зацепин А.Г.(ИО РАН), Зимин А.В. (ИО РАН), Кондратьев С.А. (ИНОЗ РАН), Малинин В.Н. (РГГМУ), Мамаева М.А. (ГГИ), Плинк Н.Л. (РГГМУ), Родионов А.А. (ИО РАН), Рябченко В.А. (ИО РАН), Третьяков М.В. (ААНИИ), Угрюмов А.И. (РГГМУ), Филатов Н.Н. (ИВПС КарНЦ РАН), Цепелев В.Ю. (Северо-Западное УГМС), Шилин М.Б. (РГГМУ).

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Research Institute»

Federal State Budgetary Institution Northwest Administration
for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

Scientific Foundation «Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre»



**PROCEEDINGS
OF THE RUSSIAN NATIONAL CONFERENCE
HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY:
SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS
AND PERSPECTIVES**

to the 70-th anniversary of the birth of Lev N. Karlin

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т 78

Т 782

Proceedings of the Russian national conference “Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives” to the 70-th anniversary of the birth of Lev N. Karlin – СПб.: Аграф +, 2017. – 514 с.

ISBN 978-5-9529-0085-1

The book contains materials of the reports of the Russian and foreign experts in the field of meteorology, hydrology, oceanology, ecology, marine management and education in the hydrometeorology. Special attention is given to results of basic research and their implementation for solving applied problems including the development of technologies for monitoring the World Ocean in order to investigate and development of its resources, improvement of technical resources and forecasting methods for hydrometeorological processes for the management of water resources and marine activities. There are considered the problems of building up capability in education in hydrometeorology sphere.

For the researchers and engineers, specialized in hydrometeorology and ecology. This book is useful for students and postgraduates of relevant specialties.

Conference Organizers:

- P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences
- Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute"
- Federal State Budgetary Institution Northwest Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring
- Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
- SCIENTIFIC FOUNDATION “NANSEN INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AND REMOTE SENSING CENTRE”

With the participation:

- Russian Federal State Budgetary Organization “State Hydrological Institute”

Support of the Conference:

- Committee for Nature Use Environmental Protection and Ecological Safety
- Committee for Science and Higher Education
- St. Petersburg Maritime Council

Co-organizer:

- Saint Petersburg Convention Bureau

Conference operator:

- Ltd «InproExpo»

Program committee of the Conference: Ashik I.M. (AARI), Bobilev L.P. (NIERSC), Eremina T.R. (RSHU), Zacepin A.G. (IO RAS), Zimin A.V. (IO RAS), Kondrat'ev S.A. (IL RAS), Malinin V. N. (RSHU), Mamaeva M.A. (SHI), Plink N.L. (RSHU), Rodionov A.A. (IO RAS), Ryabchenko V.A. (IO RAS), Tret'yakov M.V. (AARI), Ugriumov A.I. (RSHU), Filatov N.N. (NWPI KarRC RAS), Cepelev V. Ju. (NW AHEM), Shilin M.B. (RSHU).

$$S_P(\omega) = \left\{ \frac{\cosh k(z+h)^2}{\cosh kh} \right\}^2 S_\eta(\omega), \quad (1)$$

где

z – глубина расположения датчика

h – высота превышения уровня

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число

ω – круговая частота

Отсюда следует, что чем больше глубина расположения датчика и превышение уровня, тем больше коррекция спектров, отношение которых соответствует коэффициенту затухания. Поэтому желательно в максимальной степени следовать рекомендациям по использованию приборов на основе датчиков придонного давления при измерениях именно коротковолновой части морского волнения.

Выводы:

Опыт использования приборов на основе датчиков гидростатического давления для определения элементов поверхностных волн в прибрежной зоне показал, что такое применение имеет некоторые ограничения.

Измерение элементов длинноволновых процессов, таких как сейши, приливы и штормовые нагоны не вызывает затруднений.

При измерении элементов ветровых волн и зыби спектр волнения должен быть скорректирован относительно спектра колебаний придонного давления пропорционально коэффициенту затухания.

Литература

1. Коровин В.П., Тимец В.М. Методы и средства гидрометеорологических наблюдений. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. - 310 с.
2. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М: ГЕОС. 2001. 272 с.
3. Отчет по НИР «Развитие проекта «ТЭО берегоукрепления восточной части Финского залива». Исследование гидрологического режима в прибрежной зоне Курортного района Санкт-Петербурга». СПб, РГГМУ, 2006.
4. Рябчук Д.В., Григорьев В.В. Направление транспортировки песчаного материала в прибрежной зоне восточной части Финского залива // Отечественная геология, 2000, № 4, с. 46-49.
5. Отчет о выполнении Государственного контракта № 19/12-200 от 13.11.12 «Исследование влияния процессов переработки российских участков берега Балтийского моря, испытывающих существенное антропогенное воздействие, на качество морских вод и разработка рекомендаций по предотвращению загрязнения и засорения вод Балтики», шифр И-12-74. СПб: ВСЕГЕИ, 2012.
6. Ossi-010-003 Wave Gauge User Manual.

СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА АРКТИЧЕСКИХ РЕК РОССИИ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В XXI ВЕКЕ

С.А. Агафонова, Н.Л. Фролова, Г.В. Суркова

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

MODERN CHARACTERISTICS OF THE ICE REGIME OF RUSSIAN ARCTIC RIVERS AND THEIR POSSIBLE CHANGES IN THE 21ST CENTURY

S.A. Agafonova, N.L. Frolova, G.V. Surkova

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

Для территории России севернее 60°с.ш. проведена оценка изменений основных характеристик ледового режима рек и показателей климатических ресурсов холодного периода года к концу XXI века для сценария RCP 8.5.

For the territory of Russia North of 60°N changes of the main characteristics of the ice regime of rivers and the climate indices of the cold period of the year to the end of the XXI century for scenario RCP 8.5 have been evaluated.

Ледовые явления на арктических реках наблюдаются большую часть года. Со сроками и продолжительностью ледовых явлений связаны многие виды хозяйственной деятельности (судоходство, строительство ледовых переправ, эксплуатация различных гидротехнических сооружений). На сегодняшний день существуют множество исследований тенденций изменения ледового режима рек, в том числе арктической зоны [1,2]. В работах [3,4] с использованием простой модели, основанной на связи сроков ледовых явлений со средней температурой воздуха предшествующего месяца, получены вероятные характеристики будущего ледового режима рек в течение XXI в.

Исследуемая территория расположена севернее 60°с.ш. и включает арктическую зону России и прилегающие регионы: Кольский полуостров, Карелия, бассейны рек Онега, Северная Двина, Печора, среднее и ниже течение крупных Сибирских рек (Обь, Енисей, Лена), бассейны рр. Яна, Индигирка и Колыма. Климат территории характеризуется преимущественно суровой продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Сток воды исследуемых рек формируется преимущественно в период таяния снежного покрова с добавлением у ряда рек талых вод высокогорных снежников, ледников и наледей. Зимняя межень устойчива, ее сток достигает значительных величин на севере европейской части России и у рек Карского моря и снижается до очень малых величин на водосборах моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей вследствие суровых природных условий. Ряд больших и средних северных рек (рр. Анабар, Оленек, Яна, Алазея, Паляваам, Амгуэма и др.) в зимний период перемерзают [5].

Материалы и методы

В работе использованы данные наблюдений за период с 1960 по 2014 гг. на 220 гидрологических постах, рассмотрены наиболее общие характеристики ледового режима рек: продолжительность периода с ледовыми явлениями, продолжительность ледостава, а также наибольшая толщина льда. Пропуски данных восстанавливались методом гидрологической аналогии с использованием информации по створам, расположенным на реках со схожими физико-географическими условиями и характеристиками водосборов.

Для оценки будущих изменений характеристик ледового режима использовались показатели климатических ресурсов за холодный период (октябрь – май): сумма отрицательных температур воздуха, сумма положительных температур воздуха, число дней с температурой воздуха ниже 0°С и сумма твердых осадков. Климатические ресурсы были рассчитаны на основе результатов численных экспериментов, выполненных климатическими моделями в рамках международного проекта СМIP5. Среди основных вычислительных экспериментов СМIP5, важных с точки зрения оценки дальнейшего отклика Арктики на изменения климата, были использованы эксперимент historical и эксперимент по сценарию RCP8.5. Выбор сценария RCP 8.5 обусловлен тем, что он является наиболее «жестким» среди сценариев, оцениваемых в численных экспериментах СМIP5, в плане возможного воздействия внешних, в том числе антропогенных, факторов на климатическую систему с учетом политики регулирования выбросов парниковых газов. Такое интенсивное внешнее воздействие позволяет получить большой и статистически значимый отклик на увеличение концентрации парниковых газов.

Расчеты показателей климатических ресурсов выполнялись по модельным данным о ежедневных значениях средней суточной температуры приземного воздуха и суточных сумм осадков моделей. Результаты каждой модели были интерполированы на единую пространственную сетку с расстоянием между узлами 1,75x1,75 градусов по широте и долготе, для узлов сетки рассчитывались средние по ансамблю моделей значения.

Ледовый режим рек в современных условиях

Реки исследуемой территории характеризуются устойчивым ледоставом, исключения составляют порожистые участки и истоки из крупных озер. Ледостав также не наблюдается на участках сброса промышленных сточных вод, ниже плотин ГЭС. Средняя продолжительность ледостава меняется по территории от 5 месяцев на юго-западе до 8 и более месяцев на реках полуострова Таймыр. Продолжительность ледостава для больших рек (рр. Печора, Обь,

Енисей, Лена и др.) несколько ниже, чем на соседних средних реках и составляет в замыкающих створах рр. Лена и Енисей – 230 сут, р. Обь – 210 сут, р. Печора – 190 сут.

Для большинства рек исследуемой территории толщина ледяного покрова нарастает в течение всего ледоставного периода и достигает максимальных значений в последний месяц ледостава, при этом интенсивность нарастания в последние месяцы минимальна. Резкие увеличения значений толщины льда в феврале–марте обычно связаны с выходом воды на лед и образованием наслуда, в апреле – с оттепелями и смерзанием мокрого снега с ледяным покровом. Значительный рост толщины льда на малых и средних реках часто обусловлен промерзанием до дна нижележащих участков и отсутствием течения в створе поста.

Большой разброс значений наибольшей толщины льда характерен для северо-востока территории. При значениях суммы отрицательных температур ниже -5000°C средняя наибольшая толщина льда составляет от 0,8 до 2,0 м и более. Для отдельных створов рост толщины ледяного покрова происходит за счет замерзания наледной воды, для других характерны особые гидрогеологические условия и вследствие этого пониженные значения толщины льда, а также полыньи в течение зимнего периода для отдельных участков рек.

Для промерзающих рек рост толщины ледяного покрова прекращается задолго до конца зимнего периода. В таких случаях толщина льда при отсутствии наледей равна глубине потока перед ледоставом. Стоит отметить, что в пределах европейской территории России промерзают преимущественно малые реки (с площадью водосбора до $5\ 000\ \text{км}^2$), в пределах Сибири, особенно на северо-востоке территории возможно промерзание участков крупных рек с площадью водосбора до $200\ 000\ \text{км}^2$ [6].

Для рек Кольского полуострова наибольшие значения толщины льда к концу периода ледостава достигают от 0,5 м в теплые зимы до 1,0 м в суровые, для р. Печора – от 0,7 до 1,4 м соответственно, для рек Западной Сибири – от 0,8 до 1,5 м, для р. Лена – от 1,3 до 2,0 м и на реках северо-востока территории (р. Амгуэма и другие) – от 1,7 до 2,5 м.

Из-за сокращения стока в зимний период может образовываться лед, состоящий из нескольких ярусов, разделенных между собой пустым, без воды, пространством (сушняк, сушенец). Практически на всех реках в зоне распространения многолетней мерзлоты наблюдаются наледи. Речные наледи образуются при перемерзании рек, при проседании ледяного покрова под давлением снега или транспорта, при закупорке русла наносами или льдом. В этом случае вода изливается на поверхность ледяного покрова и замерзает [7].

Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет от 6 месяцев для рек Карелии до 8,5 месяцев для рек северо-востока и п-ова Таймыр, для замыкающих створов рр. Лена – 250 сут, р. Енисей – 245 сут, р. Обь – 225 сут, р. Печора – 220 сут

Изменения сроков ледовых явлений является результатом изменения водного и термического режима рек. Ледовый режим не сразу реагирует на климатические изменения сокращением продолжительности ледовых явлений, изменения ледовых характеристик чаще не столь очевидны и долго остаются статистически не значимы. Анализ временной изменчивости основных характеристик ледового режима арктических рек показал, что некоторые тенденции в изменении этих характеристик становятся заметны лишь после 1990 г.

В осенний период при снижении расходов воды появление льда наблюдается в сроки близкие к норме даже при небольшом росте температуры воздуха. На севере европейской территории после начала устойчивого ледообразования (раннего или близкого к норме) неустойчивый характер хода температуры воздуха приводит к возврату положительных температур в ноябре, в результате чего формируются паводки за счет таяния снега и выпадения дождей. Высокие уровни в этот период способствуют более позднему ледоставу, увеличению продолжительности осеннего ледохода и шугохода, образованию зажоров. Важно отметить, что смещение сроков установления ледостава в пределах европейского сектора наблюдается в первую очередь за счет все более частых случаев экстремально позднего его установления, что заметно сказывается на продолжительности ледоставного периода.

Наибольшее смещение сроков появления льда наблюдается на реках Карелии и в низовьях р. Онега (7–8 сут), для остальных рек европейского сектора – около 5 сут, для сибирских рек изменения статистически незначимы и составляют 2–4 сут.

Изменения дат вскрытия рек статистически незначимы практически для всех постов, за исключением рек Карелии и Кольского полуострова. Смещение сроков вскрытия на реках

Кольского полуострова и Карелии составляет 6–8 сут, на реках севера европейской территории и Западной Сибири – 4–5, смещение сроков очищения ото льда также более заметно для рек европейского сектора арктической зоны и для рек северо-востока не превышает 1–2 сут.

В результате смещения сроков ледовых явлений изменение продолжительности ледостава и периода с ледовыми явлениями при сравнении двух периодов (1961–1990 и 1991 – 2014 гг.) составляет 10–14 сут для европейской территории и лишь 3–4 для северо-востока. Сокращение продолжительности периода ледостава на реках европейского сектора происходит преимущественно за счет более частых случаев экстремально позднего установления ледостава и экстремально раннего его окончания.

Некоторое смягчение зимних условий не приводит к значительным снижениям средних значений толщины льда к концу зимнего сезона. На реках Сибири толщина ледяного покрова нередко достигает значений, близких к предельным, в середине периода ледостава и дальнейшее накопление суммы отрицательных температур уже не сказывается на максимальных значениях толщины льда. В итоге изменение толщины ледяного покрова на реках Восточной Сибири – не более 5 см, на остальных реках Сибири и на больших реках севера европейской территории – до 10 см и только на реках Карелии – 10 – 15 см.

Оценка изменения ледового режима к концу XXI века

Общее глобальное потепление, прогнозируемое моделями климатической системы согласно сценариям RCP, по-разному проявляется на региональном уровне. Согласно оценочному докладу МГЭИК [8] при сценарии RCP 8.5 к середине XXI века ожидается повышение средней глобальной приземной температуры примерно на 2°C по сравнению с 1986–2005 гг., а к 2100 г. — примерно на 4°C. Для Арктики согласно данному сценарию ожидается значительно более интенсивное потепление климата, к концу XXI века, в зависимости от регионов его величина составит 5–10°C. На большей территории Арктики аномалии многих показателей климатических ресурсов сильнее выражены именно в холодный период.

Для оценки возможных будущих изменений были выявлены эмпирические зависимости показателей климатических ресурсов за холодный период (октябрь – май), рассчитанных на основе результатов численных экспериментов, выполненных климатическими моделями в рамках международного проекта CMIP5, и основных характеристик ледового режима на гидрологических постах. В качестве исходных данных использовались средние (за 10 лет) скользящие значения для всех постов: сумма отрицательных температур воздуха, сумма положительных температур воздуха, число дней с температурой воздуха ниже 0°C, сумма твердых осадков, а также продолжительности периода с ледовыми явлениями, продолжительности ледостава и наибольшей толщины льда за период с 1986 по 2005 гг.

Для каждой эмпирической зависимости были подобраны оптимальное сочетание предикторов: число дней с отрицательной температурой воздуха и сумма отрицательных температур воздуха для продолжительности ледостава; число дней с отрицательной температурой воздуха и сумма положительных температур воздуха для продолжительности периода с ледовыми явлениями; сумма отрицательных температур воздуха и сумма твердых осадков для значений наибольшей толщины льда. В результате использовалось около 2000 точек для зависимостей продолжительностей ледостава и периода с ледовыми явлениями и несколько меньше для толщины льда. Створы, для которых, нарастание толщины льда происходит за счет наслуда или для которых решающим является влияние выхода грунтовых воды, были исключены. Осреднение по десятилетиям и совместное использование данных всех постов в одной зависимости позволило сгладить влияние местных условий отдельных створов и особенностей погоды отдельных лет. Коэффициенты корреляции полученных зависимостей статистически значимы.

Используя полученные зависимости были рассчитаны значения характеристик ледового режима для пространственной сетки с расстоянием между узлами 1,75x1,75 градусов по широте и долготе для временных срезов 1986–2005 и 2081–2100 гг. Возможные изменения характеристик ледового режима оценивались как разность полученных полей. Результаты представлены в виде карт.

Оценки изменений основных характеристик ледового режима к концу XXI в. согласуются с ожидаемыми изменениями продолжительности холодного периода и суммы отрицательных температур воздуха. Для Карелии и Кольского полуострова по сценарию RCP 8.5 ожидаются

значения суммы отрицательных температур $-700... -1000^{\circ}\text{C}$, для севера Западной Сибири $-1500... -2000^{\circ}\text{C}$, для Восточной Сибири $-3000... -3500$. Согласно оценкам число дней с отрицательной температурой воздуха сократится до 100–150 сут для Карелии, Кольского полуострова и бассейна р. Северная Двина, до 150–200 сут для бассейна р. Печора и севера Западной Сибири и составит 200 сут и более для севера Средней и Восточной Сибири, бассейнов рр. Колыма и Яна и для северо-востока.

Значительное сокращение продолжительности периода с ледовыми явлениями и периода ледостава (при сравнении 2 периодов: 1986-2005 гг. и 2081-2100 гг.) ожидаются для рек Кольского полуострова и низовьев рр. Северная Двина и Печора (80 сут и более, что соответствует 40–50%). Наименьшие изменения ожидаются для центра Восточной Сибири – около 30 сут или 15–20%. Для европейской территории более заметны изменения продолжительности с ледовыми явлениями, для азиатской – периода ледостава.

Снижение наибольшей толщины льда составит для большей части территории до 30 см, что для рек европейского сектора и Западной Сибири – около 30–40 %. Наиболее заметные изменения ожидаются для рек Чукотского полуострова (до 50 см). Следует отметить, что речь идет об изменении вклада отрицательных температур воздуха в значения наибольшей толщины ледяного покрова. Изменение вклада наледных процессов в конечные значения наибольшей толщины ледяного покрова в данной работе не оценивались.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда: современные изменения ледового режима рек исследованы в рамках гранта РНФ (соглашение № 14–17–00155П); оценка будущих изменений получена по ансамблю моделей международного проекта CMIP5 в рамках гранта РНФ (соглашение № 14–37–00038П).

Литература

1. Prowse T, Alfredsen K, Beltaos S et al Changing lake and river ice regimes: trends, effects, and implications. // Snow, Water, Ice, and Permafrost in the Arctic (SWIPA): climate change and the cryosphere. scientific assessment of the Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). Oslo. 2011. P. 601 – 652.
2. Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. №3. С. 32–45.
3. Борщ С.В., Гинзбург Б.М., Солдатова И.И. Применение моделей формирования ледовых явлений на реках для оценки вероятного изменения ледового режима при различных сценариях будущего климата // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, №2. С. 194–200.
4. Гинзбург Б.М. Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2005. №12. С. 88–97.
5. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Алексеевского Н. И. М.: ГЕОС, 2007.
6. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России. СПб.: РГГМУ, 2001.
7. Алексеев В.Р. Наледи. Новосибирск: Наука, 1987.
8. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ГИДРОЛОГИИ: УЧЕБНЫЙ КУРС ДЛЯ АСПИРАНТОВ ИВП РАН

Г.В. Айзель, к.т.н.

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

MACHINE LEARNING IN HYDROLOGY: EDUCATIONAL COURSE FOR IWP RAS POSTGRADUTE STUDENTS

G.V. Ayzel, Cand. Sci.

Institute of Water Problems of RAS, Moscow, Russia

Отмечены трудности организации первого образовательного курса по основам машинного обучения в гидрологии для аспирантов академического института.